

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ
UNIVERZITA OSTRAVA**

Hornicko – geologická fakulta

Katedra environmentálního inženýrství

**RIZIKA SOUVISEJÍCÍ S VÝSKYTEM NANOČÁSTIC
V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ**

bakalářská práce

Autor:

Zuzana Jašová

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.

Ostrava 2018

VŠB - TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA

Faculty of mining and geology

Department of environmental engineering

**RISKS INFLUENCED BY OCCURENCE OF
NANOPARTICLES IN ENVIRONMENT**

diploma thesis

Author:

Zuzana Jašová

Supervisor:

prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Zuzana Jašová**
Studijní program: B21 02 Neroztné suroviny
Studijní obor: 3904R005 Environmentální inženýrství
Téma: **Rizika související s výskytem nanočástic v životním prostředí**
Risks influenced by occurrence of nanoparticles in environment
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce
2. Původ nanočástic
3. Klady a zápory aplikací nanočástic v technologiích a výrobcích
4. Rizika nanomateriálů pro lidské zdraví a životní prostředí
- 4.1 Biologické vlastnosti
- 4.2 Ekotoxicita
5. Použití nanomateriálů
6. Nanowaste
7. Experimentální část
- 7.1 Nanočástice Ag v odpadech
- 7.2 Nanočástice Ag v imisích
8. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

DOHNALOVÁ L., DOHNAL V.: Nanočástice a jejich toxicita. Chem. Listy (2015), 109, 444–450
DUMONT E., JOHNSON A.C., KELLER V.D.J., WILLIAMS R.J.: Nano silver and nano zinc-oxide in surface waters – Exposure estimation for Europe at high spatial and temporal resolution. Environmental Pollution 196 (2015) 341–349
FARKAS J., PETER H., CHRISTIAN P., URREA J.A.G., HASSELLÖV M., TUORINIEMI J., GUSTAFSSON S., OLSSON E., HYLLAND K., THOMAS K.V.: Characterization of the effluent from a nanosilver producing washing machine. Environment International 37 (2011) 1057–1062
JOHNSON A.C., JÜRGENS M.D., LAWLOR A.J., CISOWSKA I., WILLIAMS R.J.: Particulate and colloidal silver in sewage effluent and sludge discharged from British wastewater treatment plants. Chemosphere 112 (2014) 49–55
MROWIEC B.: Directions and possibilities of the safe nanowaste management. CHEMIK (2016), 70, 10, 593–596
MCGILLICUDDY E., MURRAY I., KAVANAGH S., MORRISON L., FOGARTY A., CORMICAN M., DOCKERY P., PRENDERGAST M., ROWAN N., MORRIS D.: Silver nanoparticles in the environment: Sources, detection and ecotoxicology. Science of the Total Environment 575 (2017) 231–246
NOHAVICA D.: Rizika nanomateriálů a nanotechnologií pro lidské zdraví a životní prostředí. Čs. čas. fyz. 2011, 61 č. 3-4, 221–227

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.**

Datum zadání: 31.10.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018


doc. Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D.
vedoucí institutu




doc. Ing. Jan Valíček, Ph.D.
děkan fakulty

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB- TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne



Poděkování:

Touto cestou bych ráda poděkovala své vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Heleně Raclavské CSc. za poskytnutí odborných rad, informací a pohodový přístup během vypracovávání práce. Pak také bych chtěla poděkovat celé své rodině za podporu a trpělivost.

Anotace

Bakalářská práce na téma Rizika související s výskytem nanočástic v životním prostředí se dělí na dvě části. Teoretická část práce se zabývá původem nanočástic, jejich základní charakteristikou a definicemi. V dalších kapitolách je práce zaměřena na zdroje nanočástic a jejich využití v průmyslu a zdravotnictví. Následně práce podrobně popisuje výhody a nevýhody použití nanočástic ve výrobcích. Závěrem teoretické části je kladen důraz na toxicitu nanočástic a nanotechnologií a vliv nanočástic na lidské zdraví. V praktické části se práce věnuje využití nanočástic v barvách a nátěrech v interiérech domů, jejich pozitivní funkcí a působení na životní prostředí.

Klíčová slova: Nanočástice, toxicita, nano nátěry

Summary

This bachelor's work on topic – Risk related with occurrence of nanoparticles in environment is divided into two parts. First part is theoretical part of the work engaged in nanoparticles' origin, its basic characteristic and its definition. Next chapters are focused on sources of nanoparticles and their utilization in the industry and health care too. There are described advantages and disadvantages of nanoparticles' application in products. Theoretical final chapter points out nanoparticle toxicity and nanoparticle effect on human health. Practical second part of the work solves usage of nanoparticles in colors and paints in interiors, their positive function and influence on environment.

Key words: Nanoparticles, toxicity, nanopaints

OBSAH

1	Úvod	1
2	Původ nanočástic.....	2
2.1	Základní charakteristika nanočástic.....	3
2.1	Definice nanomateriálu	4
2.2	Zdroje nanočástic	8
2.3	Použití nanomateriálů a nanotechnologií	9
2.4	Pigmenty	10
2.5	Stavební materiály.....	11
2.5.1	Sklo	11
2.5.2	Izolace	12
2.5.3	Ochrana proti opotřebení	13
2.5.4	Beton.....	13
2.5.5	Ocel.....	13
2.6	Energie	14
2.7	Úprava vody.....	14
2.8	Potraviny	15
2.9	Zdravotnictví.....	16
2.10	Optika	18
3	Klady a zápory aplikací nanočástic v technologiích a výrobcích	19
4	Rizika nanomateriálů pro lidské zdraví a životní prostředí	23
4.1	Vliv nanomateriálu na lidské zdraví	23
4.2	Biologické vlastnosti.....	27
4.3	Ekotoxicita	29
5	Použití nanomateriálu	32

5.1	Expozice při aplikaci nanomateriálu na pracovištích.....	33
5.2	Ochrana pracovišť	33
5.3	Čištění odpadních vod.....	34
5.3.1	Využití nanočástic ZnO k odstranění bakteriálního znečištění	35
6	Nanowaste.....	36
7	Barevné pigmenty a nanočástice	38
8	Praktická část	40
8.1	Metodika praktické části	40
9	Závěr	51
10	Seznam použité literatury	52
11	Seznam obrázků	56
12	Seznam tabulek	58

1 ÚVOD

V dnešní době rychle vzrůstá produkce a využití nanočástic skoro ve všech odvětvích lidské činnosti (potravinářský průmysl, výroba pesticidů, kosmetiky nebo v technologiích dekontaminace životního prostředí). Běžnou součástí životního prostředí se tak stávají nanomateriály přírodního nebo antropogenního původu. Chemické látky ve formě nanočástic mají ve většině případů odlišné toxikologické vlastnosti, než je jejich makroskopická forma. [1]

V této oblasti jsou důležitou součástí koloidy kovů, např. při barvení keramiky a skla, kde významnou roli hraje koloid zlata. Michael Faraday významný anglický chemik a fyzik výzkumem tohoto koloidu na počátku 2. poloviny 19. století zahájil dobu koloidní chemie, jejíž rozvoj na počátku 20. století přinesl masové rozšíření fotografie, naději v boji s mikroorganismy za pomoci stříbra. Poslední čtvrtina 20. století přinesla obnovení zájmu o nanočástice kovů, jako příklad může sloužit objev stříbrným povrchem zesíleného Ramanova rozptylu (SERS), který zahájil rychlý rozvoj nové, vysoce citlivé spektroskopické metody. Obnovil se velký zájem o baktericidní účinky nanočástic stříbra, jelikož rostoucí rezistence bakterií vůči antibiotikům přináší problém pro medicínskou praxi. [2]

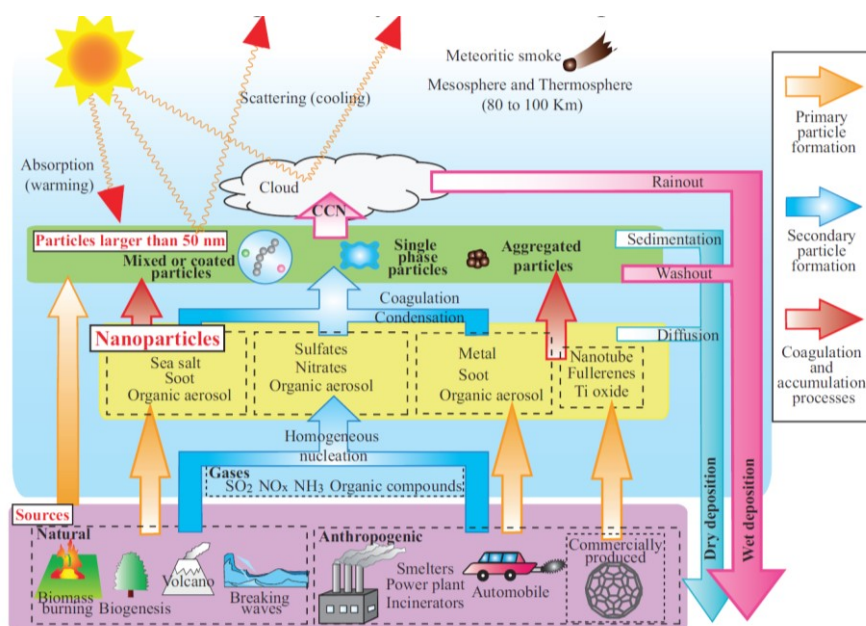
Ve všech nanotechnologických aplikacích hraje významnou roli velikostní distribuce používaných nanočástic, jejich morfologie, stabilita, stav povrchu z hlediska fyzikálního např. elektrický náboj, i chemického např. modifikace povrchu. Přípravy nanočástic stříbra požadovaných vlastností však není vyřešeným úkolem materiálového výzkumu, čemuž odpovídá rostoucí počet publikací na toto téma. [2,3]

Očekává se, že tyto nové technologie přinesou revoluci v medicíně, kde díky své velikosti vykazují nanomateriály schopnost vstupovat do jednotlivých buněk, a tak působit třeba jako nosiče léčiv nebo kontrastní látky v lékařské diagnostice. Mnoho z procesů a produktů informačních technologií a počítačový průmysl se již bez nanotechnologií neobejde. Nanotechnologie se začaly využívat v mnoha spotřebitelských produktech ke zlepšení jejich povrchových vlastností např. otěruvzdornost, trvanlivost, optické vlastnosti. Tyto materiály se využívají zejména v potravinářství, a to v obalových materiálech. Jako každá nová technologie tak i tato představuje možná environmentální a zdravotní rizika. [4] Cílem bakalářské práce je posouzení aplikace nano-barev v interiéru z hlediska výskytu nanočástic ve vnitřním prostředí během vlastního nátěru a pak po aplikaci.

2 PŮVOD NANOČÁSTIC

Nanočástice se v prostředí vyskytují již od nepaměti. Mohou vznikat vlivem přírodních procesů nebo jako důsledek řízené či neřízené lidské činnosti. Přírodní částice jsou velmi různorodé. [1]

Vznikají při požárech, sopečných erupcích, erozích, chemickým rozkladem organických látek. Při antropogenní činnosti vznikají náhodným procesem, a jsou ve své struktuře i velikosti variabilní. Nejběžnější nekontrolovatelný proces je např. spalování fosilních paliv (tepelné elektrárny, spalovací motory, důlní činnost, svařování atd.). Významným zdrojem nanočástic je automobilová doprava. Nanočástice jsou generovány mechanickou destrukcí větších částic a také nukleačními, koagulačními nebo kondenzačními procesy téměř od atomární úrovně. [1, 5]



Obrázek 1 Cyklické chování nanočástic v atmosféře [6]

Vysvětlivky k obrázku: See salt – mořská sůl, Soot – saze, Organic aerosol – organický aerosol, Sulfates – sulfáty, Nitrates – dusičnany, Organic aerosol – organický aerosol, Metal – kov, Ti oxide – oxid titanový, Fullerenes – fullerény, Nanotube – nanotrubičky, Homogeneous nucleation – homogenní nukleace, Gases – plyny, Organic compounds – organické sloučeniny, Sources – zdroje, Natural – přírodní, Biomass burning – spalování biomasy, Biogenesis – biogeneze, Volcano – sopka, Breaking waves – lámání vln, Anthropogenic – antropogenní, Smelters – hutě, Power plant – elektrárny, Incinerators – spalovny, Automobile – automobily, Commercially produced – komerčně vyráběné, Nanoparticles – nanočástice, Condensation – kondenzace, Coagulation – koagulace, Diffusion – difúze, Washout – vymývání, Sedimentation – sedimentace, Rainout – déšť, Dry deposition – suchá depozice, Wet deposition – mokrá depozice, Particles larger than 50 nm – částice větší než 50 nm, Mixed or coated particles – směsné nebo částice s povlakem, Single phase particles – jednofázové částice, Aggregated particles – agregáty (shluky) částic, Cloud – mrak, Absorption (warming) – absorpce (oteplování), Scattering (cooling) – rozptyl (chlazení), Meteoritic smoke – meteoritický kouř, Mesosphere and thermosphere – mezoféra a termosféra.

Nanočástice jsou přítomny v prachových částicích, v mořském aerosolu, půdních koloidech. K přírodním nanočásticím se řadí také viry, DNA, proteiny, pyl atd. V poslední době jsou připravovány cíleně v laboratořích. Nanočástice produkované řízenou lidskou činností jsou daleko lépe definované a uniformní. Jejich základní rozdělení je uvedeno v Tabulce 1. [1]

Nanoaerosoly jsou přírodního původu nebo vyráběné. Pomalu sedimentují, mají velkou vzájemnou přilnavost částic (agregace, aglomerace, koagulace) a přilnavost k povrchům (adheze). V nanoaerosolech probíhají dynamické změny ve velikostní distribuci nanočástic. Nanoaerosoly jsou nebezpečné, jelikož se u člověka zachytávají v horních cestách dýchacích. [7]

Tabulka 1 Rozdělení cíleně produkovaných nanočástic [1]

Typ nanočástice	Popis
Uhlíková čern	Čistá forma uhlíku. Velmi jemný černý prášek. Částice menší než 100 nm.
Kovy, oxidy kovů, keramika	Množství kompaktních forem nanočástic včetně nano oxidu titaničitého a křemene. Často v agregované podobě. Kompozity obsahují např. kovové jádro a povrch z oxidu kovu nebo slitiny.
Fullereny	Sférické molekuly složené z atomů uhlíku.
Uhlíkové nanotrubičky	Allotropní forma uhlíku s cylindrickou strukturou. Mohou být jednostěnné (single-walled) nebo víceštěnné (multi-walled).
Nanodrátky	Vodivé nebo polovodivé nanodrátky o velikosti desítek nm např. Co, Au, Cu, Si.
Kvantové tečky	Malé 2-10 nm útvary polovodičového materiálu s elektronickými, optickými nebo katalytickými vlastnostmi.
Dendrimery	Polymery s rozvětvenou strukturou, často symetrické okolo jádra. Možnost funkcionalizace periferních funkčních skupin.
Nanojíly	Keramické nanočástice např. bentonit, kaolinit.

2.1 Základní charakteristika nanočástic

Tvar nanočástic může být:

- kulovitý,
- nepravidelný,
- trubičkový,

- vláknitý,
- destičkový.

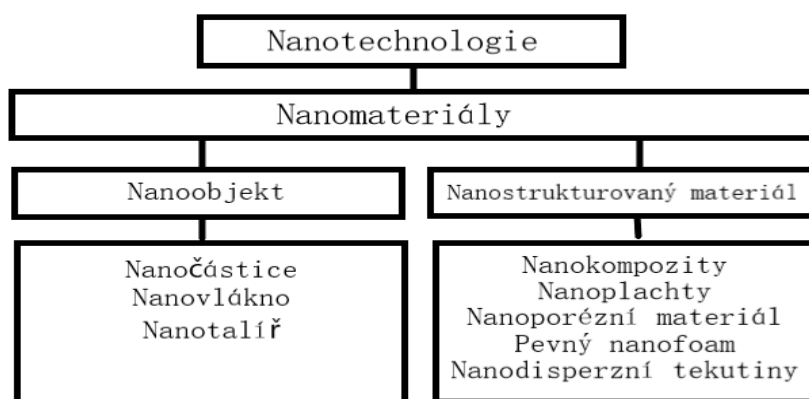
Je to nanomateriál, který je ve všech vnějších rozměrech nanostrukturní v měřítku $1 \cdot 10^{-9}$ m. Nanočástice mají odlišnou rozpustnost, barevnost a zvýšenou chemickou reaktivitu oproti částicím stejného chemického složení. Vykazují jiné vlastnosti než částice větších rozměrů (chemická reaktivita, rozpustnost, bod tání). Nanočástice se dělí podle chemické povahy (anorganické, organické), typu (lipidové, proteinové, sacharidové) a původu (přírodní, syntetické). [7,8]

Nanočástice tvoří koloidní disperze (shlukují se), mohou mít hydrofobní i hydrofilní charakter, jsou velmi reaktivní. Mají povrchový náboj, malou velikost, ale velkou měrnou plochu povrchu. Jsou stále v prostředí a jsou bioakumulativní. [9]

2.1 Definice nanomateriálu

Oblast nanotechnologie viz Obrázek 2 je multidisciplinární oblast, která zahrnuje organickou chemii, molekulární biologii, materiálové inženýrství, fyziku polovodičů a výrobu. Rostoucí počet aplikací využívajících nanotechnologie vedly k tvorbě odpadu obsahujícího syntetické nanomateriály. Tento tzv. *nanowaste* je těžké sledovat kvůli jeho rozměrů. Je důležité zajistit likvidaci tohoto odpadu, nepoškodit životní prostředí a zdraví člověka. Nedostatek přísných politik a předpisů související s používáním a likvidací nanotechnologie, kromě recyklace produktů obsahujících nanomateriály jsou kritické. [10]

Syntetické nanomateriály viz Obrázek 2 existují a jsou používány v komerčně dostupných výrobcích jako jsou kosmetika (vlasové výrobky, hydrataci pokožky, kosmetické přípravky), barvy a povlaky (antistatické, antikorozi a UV filtry), textilie a stavební materiály. V blízké budoucnosti se produkty založené na nanotechnologii a nanomateriály rozšíří do dalších oblastí. Nejčastěji nanomateriály zahrnují sloučeniny uhlíku (uhlíkové nanotrubic, fullereny, uhlíkové tečky), oxidy (oxid zinečnatý, oxid křemičitý, oxid titanu), kov, nanočástice (stříbro, zlato, platina), polymery a nanomateriály biologického původu (liposomy, proteiny). [10]



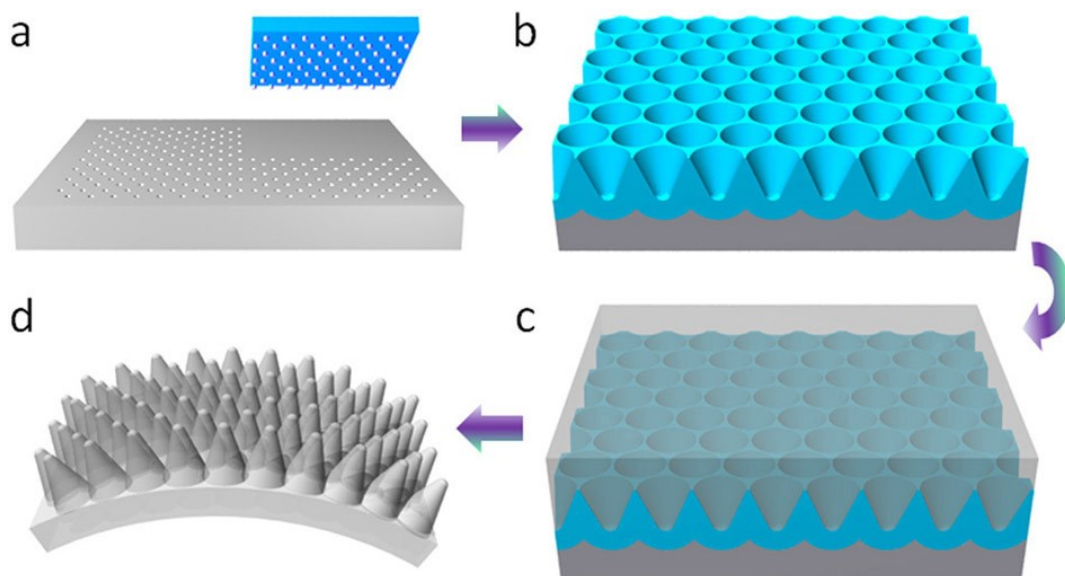
Obrázek 2 Definice nanomateriálu podle ISO TS 27687 (ISO, 2008) [10]

Nanotechnologie, toto slovo se skládá ze dvou řeckých slov „nano“ což znamená malost nebo také trpaslík. Ve fyzice má tohle slovo význam jedné miliardtiny jednotky 10^{-9} a „techné“, které v překladu znamená dovednost či zručnost. [11]

Nanotechnologie je oblast vědy a průmyslu, která cíleně zachází s jednotlivými atomy tak, aby vznikaly látky a materiály se zvláštními vlastnostmi, nebo objekty složené z jednotlivých atomů. Tato vědní disciplína se zabývá objekty, které svou velikostí spadají do řádu nanometrů tedy 10^{-9} a objekty, které mají takovou velikost se běžně zabývají obory chemie, biologie a fyziky. [11]

Definice pojmu „nanomateriál“ je důležitá pro legislativu upravující zacházení s nanomateriály. Mezinárodní organizace pro normalizaci International Organization for Standardization (ISO) definuje „nanomateriál je materiál s jakýmkoliv vnějšími rozměry velikosti v řádu nanometrů nebo s vnitřní strukturou či povrchovou strukturou také v řádu nanometrů, tedy přesněji 1-100 nm“. [1]

Definice nanočástic podle nařízení Evropské komise 2011/696/EU zní takto „Nanomateriálem se rozumí přírodní materiál, materiál vzniklý jako vedlejší produkt nebo cíleně vyrobený materiál obsahující částice. Tyto částice jsou ve formě izolovaných částic nebo jejich agregátů, aglomerátů s 50 % či více částic materiálu má jeden či více vnějších rozměrů ve velikosti 1-100 nm. Tato definice zahrnuje také fullerény, grafenové vločky a jednostěnné uhlíkové nanotrubic, které mohou existovat v rozměrech pod 1 nm minimálně v 1D. [12]



Obrázek 3 Schéma označující tvar nanotyčinek [13]

Tým vědců Royal Melbourne Institute of Technology v Austrálii zveřejnil vývoj nového nanostrukturního materiálu nazývaného se nanotyčinky. Je to typ kuželového strukturovaného nanomateriálu, který dokáže zvýšit účinnost fotovoltaických článků zvýšením absorpce světla. Hlavní funkce nanotyčinek spočívá v extrémně vysokém indexu lomu světla, která funguje tak, že na povrchu se chová jako vodič a uvnitř jako izolátor. Pokud na tyčinku začne působit světelné záření, dopadající fotony způsobí oscilaci a změnu koncentrace elektronů. [13]

Jednotlivá nanotyčinka má velmi tenký kovový povlak a jádro, které je založeno na dielektrickém materiálu. Materiál s nimi vyrobený by byl schopen poskytnout vynikající vlastnosti absorpce světla, což je ideální pro solární články, širokou paletu fotovoltaických aplikací, optických vláken k vlnovodům a čočkám. Nanotyčinky vykazují velmi dobré vlastnosti pro absorpci světla i pro optická vlákna. Jejich používání může zvýšit množství absorpce viditelného a ultrafialového světla o 15%. [13, 14]

Z definice chápeme „částici“ jako malou část hmoty s definovanými fyzikálními hranicemi a „agregátem“ pak rozumíme částice složené z pevně vázaných nebo sloučených částic. „Aglomerát“ je pak shluk slabě vázaných částic, jejichž výsledný vnější povrch je přibližně podobný součtu povrchů jednotlivých částic. [1]

Na to navazuje definice Nanotechnologie zabývající se jejím chováním (oddělováním, spojováním a deformací nanomateriálu). Zjednodušený princip chování nanomateriálu

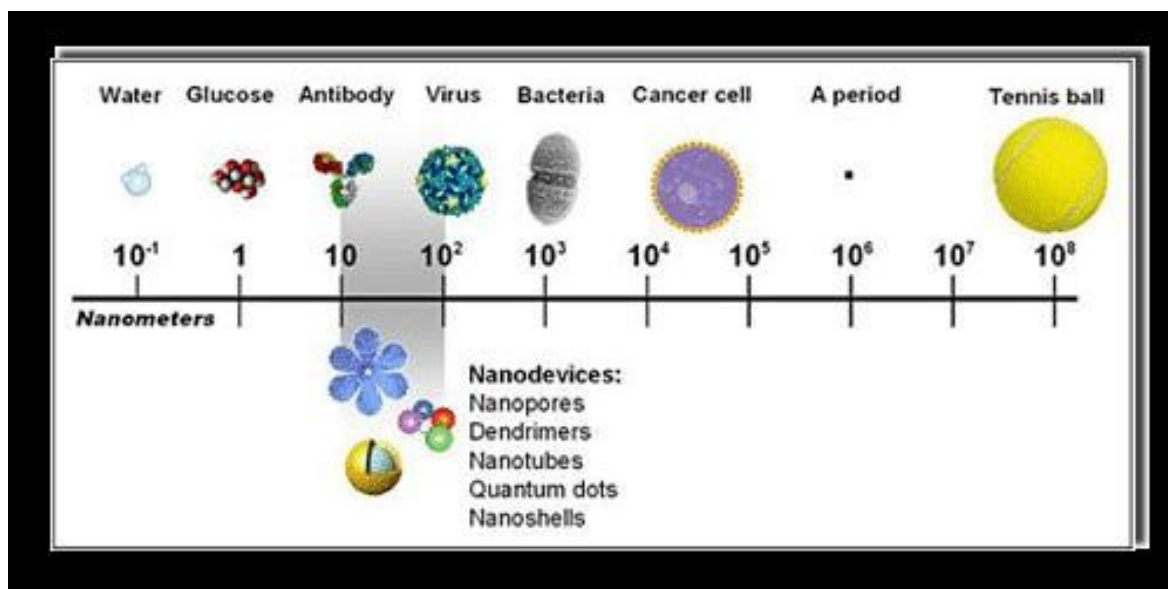
závisí na tom, že fyzikálně-chemické vlastnosti pevných látek nejsou stejné na povrchu a uvnitř materiálu. Pokud částice daného materiálu se zmenší pod 100 nm začínají fyzikálně-chemické vlastnosti povrchu převládat nad vlastnostmi daného materiálu a částice se začne chovat jako by ji celou tvořil pouze povrch. Velmi výrazným jevem tohoto procesu je silné zvýšení chemické reaktivity a důsledkem může být i změna toxicity. [5]

Další definici vytvořila Americká Agentura pro ochranu životního prostředí United States Environmental Protection Agency (US EPA), která nanomateriály definuje jako materiály, které mají alespoň jeden rozměr menší než 100 nm. Mezi nanomateriály řadí i nanočástice, které mají nejméně dva rozměry mezi 1-100 nm. [1]

Zatím ale neexistuje žádná jednotná všeobecně uznávaná definice nanomateriálu nebo nanočástic. [1]

V oblasti nanotechnologií přechází moderní chemie a fyzika k novým typům experimentů, a to ve výstavbu nanoobjektů z atomů a malých molekul. Tento nový přístup vychází z principu „Bottom up“ (tzn. směrem vzhůru), kdy stavba objektu je založena na intra a entermolekulární nevazební interakci s cílem vytvořit supramolekulární komplex velikosti nanočástic. Úspěch výsledného uspořádání závisí na vhodné orientaci funkčních skupin, ploše a vhodném uspořádání stavebních jednotek. [5]

Jelikož se rozměry nanočástic nacházejí pod hranicí optického rozlišení, stala se důležitým faktorem nová technika, která přispěla k rozvoji nanotechnologií. Vynález elektronového mikroskopu umožnil spatřit a identifikovat trojrozměrnou strukturu nanočástic. Pozdější konstrukční změny elektronového mikroskopu v 80. a 90. letech 20. stol. spolu s dalšími technikami instrumentální analýzy umožnily identifikovat a prokázat řady struktur nanomateriálu a výskyty nanočástic v prostoru. [5]



Obrázek 4 Relativní velikost biomolekul vzhledem k nanočástici [15]

Vysvětlivky k obrázku: Nanometers – nanometry, Water – voda, Glucose – glukóza, Antibody – protilátka, Virus – virus, Bacteria – bakterie, Cancer cell – rakovinná buňka, Tennis ball – tenisový míček, Nanodevices – nanotechnologie, Nanopores – nanopory, Dendrimers – dendrimery, Nanotubes – nanotrubice, Quantum dots – kvantové body, Nanoshells – nanoshellový plazmón.

2.2 Zdroje nanočástic

Největším zdrojem kontaminace prostředí nanočásticemi jsou automobily se spalovacími motory. V blízkosti dálnic byla zjištěna koncentrace nanočástic $1\,000\,000$ v cm^3 . Kardiovaskulární, respirační a další onemocnění související s výskytem nanočástic překonávají úmrtnost a dlouhodobé nemoci způsobené kouřením, které jsou také zdrojem obrovského množství nanočástic vdechovaných do plic. Ve studii v UCLA (University of California in Los Angeles) byl zjištěn vliv nejjemnější frakce částic z výfukových plynů, které způsobují tvorbu arteriálních povlaků deaktivujících ochrannou funkci HDL a arterie tvrdnou. [16]

Podobně se chovají i produkty tryskových motorů v letadlech s tím rozdílem, že při letu ve velkých výškách může za dobu spadu, která je poměrně dlouhá, dojít ke koagulaci částic do větších celků s menší toxicitou. Další zdroje jsou emise z elektráren, které spalují uhlí, olej, plyn, spalovny odpadu, lesní požáry, vulkanická činnost, dým generovaný při svařování apod. Množství velmi jemných částic produkovaných v okolí pobřeží Los Angeles z hlavních zdrojů znečištění je odhadováno na 13 tun denně. [16]

U uhlíkových nanotrubic vyráběných ve velkém množství (více než 120 tun ročně) bylo zjištěno, že jejich toxicita je enormně zvýšená stopovými koncentracemi kovů. Podobně jako u azbestu zde bylo zjištěno podezření na vznik rakoviny a mesoteliom (vzácná forma rakoviny, vyvíjející se z mezotelu – ochranné tkáně pokrývající vnitřní orgány). Svinuté agregáty uhlíkových nanotrubic přítomné ve většině komerčně vyráběných vzorků jsou bezpečné. [16,17]

2.3 Použití nanomateriálů a nanotechnologií

Význam nanotechnologií a nanomateriálů vzrůstá vzhledem k širokému aplikačnímu využití a použití v různých průmyslových odvětvích, zdravotní péči a spotřebních produktech. V současnosti dochází k extenzivnímu průniku nanotechnologií do několika průmyslových odvětví, kde jsou využívány pro výrobu katalyzátoru z nanostrukturovaných materiálů, chemický průmysl a polovodiče s rozměry pod 100 nm, dalším odvětvím s rostoucím využitím nanočástic je molekulární medicína. Očekává se, že nanotechnologie přinesou revoluci, jelikož jejich produkty mají schopnost průniku k cílovým orgánům a tkáním s jejich následným ovlivněním, dále v regenerativní medicíně (hojení ran) a nanobiofarmaceutice. Některé nanomateriály jsou tak malé, že mohou snadno pronikat do jednotlivých buněk, kde fungují jako nosiče léčiv nebo nosiče kontrastních látek pro zobrazování tkání a diagnostiku onemocnění. Významný rozvoj nanotechnologických aplikací je v potravinářství, a to ve vývoji nových obalových materiálů, aditiv, stabilizátorů a přípravě nových potravin a dále při vývoji nanofiltrů pro filtraci pitné a podzemní vody. [4]

Nanotechnologie se uplatňují ve velmi citlivých nanosenzorech, ve fotonice, plazmonice, textilním průmyslu, při dekontaminačních technologiích (podzemní vody, sanace půd) v automobilovém průmyslu např. superhydrofobní vrstvy na čelních sklech, aditiva do pohonných hmot, antikoroziní nátěry. Očekává se, že od roku 2020 budou produkty nanotechnologií využívány téměř ve všech průmyslových sektorech, informačních technologiích, v oblastech medicíny a ochrany přírody. Nové aplikace umožní vývoj fotovoltaických zařízení s dlouhou životností a vysoce výkonných akumulátorů, které zajistí konkurenceschopnost elektromobilů. [4]

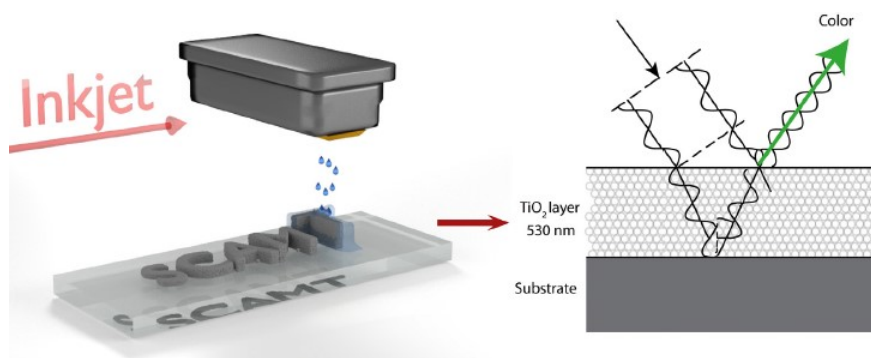
Obor syntetická biologie byl popsán jako konvergence molekulární biologie, informačních technologií a nanotechnologie vedoucí k systematickému vytváření biologických systémů. V dnešní době je pravděpodobně až pětina chemického průmyslu USA závislá na syntetické biologii. Nanotechnologické aplikace v USA by měly zajistit konkurenceschopnost nákladů na konverzi sluneční energie a mezi roky 2020-2025 se v USA očekává obdobná tendence i v případě odsolování mořské vody. Očekává se, že nanotechnologie přinesou hlavní řešení ve více než 50% nových projektů zaměřených na problematiku zdrojů energie a vody. Je patrné, že syntetické nanomateriály se v čím dál větší míře stávají součástí každodenního života a tím se i zvyšuje pravděpodobnost jejich většího výskytu ve všech složkách životního prostředí. Tyto materiály představují potencionální environmentální a zdravotní rizika, která se musejí dále ještě zkoumat. Důležité v oblasti nanotechnologií je přesně definovat bezpečnostní stránky manipulace s nanomateriály pro maximální omezení možných rizik spojených s pracovní expozicí a expozicí ostatních organismů v životním prostředí. [4]

2.4 Pigmenty

NanoTope patří do řady patentovaných nanočásticových organických pigmentů založených na SMI (Polystyren-ko-maleinanhydrid) vyvinuté pro specifické inovativní aplikace v papírenském průmyslu a při výrobě kartonů. Nanotopes jsou disperze s malou velikostí částic (pohybují se 30-150 nm). Jsou buď čisté nebo v hybridních systémech, nanočástice SMI jsou (Poly styren-ko-maleinanhydrid) vysrážené na anorganických pigmentech. Mohou být použity kombinovaně s anorganickými plnivy např. kaolin, mastek a uhličitán vápenatý. Nanotope 26 má vysoký tepelný odpor T až 205 °C a díky vysokému stupni rovnoměrného pokrytí a pórovitosti na nano úrovni je povrch papíru hladší, lesklý a vhodný pro tisk. [18]

V minulém roce vědci vyvinuli novou možnost tisku barevných obrázků s použitím nanostruktury, které je environmentálně šetrnější než metody používané v současné době (Yakovlev et al. 2016). Tiskárny se dlouhou dobu vyvíjely až po systém 3D, ale vývoj barev pro barevný tisk byl mnohem pomalejší. Inkousty používané v současné době jsou toxické a pro udržení barevné stability potřebují vysokou teplotu. Nová technologie využívá nanostruktury, která je schopna reagovat se světlem za vzniku stabilních barev. Pro tuto technologii je použito nano-TiO₂. Interferenční barevné efekty jsou ovlivňovány tloušťkou vrstvy. Inkoust využívá přeměny gelových krystalických nanočástic na keramický nanofilm.

TiO₂ jsou stabilní za vyšších teplot, barva se na světle neztrácí a je stabilní, což umožňuje dlouhodobé ukládání barevných snímků. Technologii lze použít i pro potisk bankovek. [19]



Obrázek 5 Princip metody vytvářející interferenční vrstvu pro inkoustovou tiskárnu s využitím TiO₂ [19]

2.5 Stavební materiály

2.5.1 Sklo

Nanostrukturované akrylové sklo je o 50% lehčí než tradiční sklo. Kombinuje PMMA (polymethylmethakrylát (C₅O₂H₈)_n) a nanostrukturovaný elastomer. Má velkou odolnost vůči nárazu a vynikající chemickou odolnost.

Nanofilm je tvořen tenkou vrstvou reagující na nanokompozity, která pomáhá řídit infračervené světlo procházející skrz architektonické sklo. Může to snížit energii potřebnou pro vytápění a chlazení. Nanofilm má tloušťku cca 3-5 mikronů a je kompatibilní se sklem.

Nanovace NG 1010 je nová technologie nátěru pro skleněné substráty. Po vytvrzení je vytvořena síťová trojrozměrná struktura nanomerů, která způsobuje, že se sklo stává extrémně hydrofobní. Tato úprava je odolná vůči vodě i čistícím prostředkům. Z ekonomického hlediska je tato úprava nejefektivnější a lze ji rychle použít.

Pilkington Active je sklo se samočisticími schopnostmi, které využívá tenkou vrstvu oxidu titaničitého o tloušťce 15 nm. Reaguje s ultrafialovými paprsky přítomnými v denním světle, které rozkládají organické nečistoty. Sklo je hydrofilní, voda se rovnoměrně smáčí povrch a odstraňuje nečistoty. Voda se pak velmi rychle odpaří bez zanechání jakýchkoliv stop. Kromě samočisticích schopností firma vyrábí i skla, které se přizpůsobují solární energii (množství odraženého světla).

Skupina NSG (Self-cleaning Glass) neboli samočistící sklo udělala velký krok ve sklářství díky vývoji Pilkington Activ prvního samočistícího skla s dvojitým účinkem. Samočistící povlak s dvojitým účinkem se nachází na vnějším skleněném panelu, má fotokatalytické a hydrofilní vlastnosti a pracuje ve dvou fázích. V první fázi povlak reaguje s přirozeným denním světlem a uvolňuje organické nečistoty z povrchu. Ve druhé fázi, jakmile zaprší, místo kapiček se voda rovnoměrně rozprostírá po povrchu skla a vytváří tenký film. Pilkington Activ poskytuje také výhody jako je odolnost proti nárazu, a tím zvýšenou bezpečnost, omezuje prostup hluku, zlepšuje tepelnou izolaci. [20]



Obrázek 6 Okenní tabule s úpravou pro zajištění samočistícího efektu [20]

SGG NANO (Saint-Gobain Glass India) je sklo s účinnou solární kontrolou a tepelnou izolací. Dosahuje vysokého přenosu světla a odrazu tepla. Sklo je vyrobeno vytvořením několika vrstev speciálních kovových oxidů/nitridů pomocí technologie využívající magnetických vlastností založených na katodovém nanášení kovu v podmínkách vakua. Sklo má nízkou odrazivost, dosahuje vynikající snížení teploty. Blokuje více než 99% škodlivých UV paprsků.

2.5.2 Izolace

S využitím nanotechnologie (Aerogel) je dosažena tepelná účinnost 2 - 4krát vyšší než u tradičních materiálů (polystyren, minerální vlna a celulóza). Tato technologie v izolaci budov zajišťuje ultra nízkou tepelnou vodivost, odpuzuje vodu, je nehořlavá, má daleko lepší akustickou izolaci. Nanogelové granule vyrábí firma CABOT Corporation. Pro zajištění tepelné izolace je lze použít i do omítek. [18]

2.5.3 Ochrana proti opotřebení

Cerablak® (nanočástice AlPO_4 vytvořené při teplotě nad 1400°C) představuje nový vývojový směr v oboru keramiky a skla s širokou škálou aplikací zahrnující ochranu proti korozi a je stabilní při vysokých teplotách. Vykazuje hydrofobní vlastnosti, zajišťuje nelepivé povrchy. Má nízkou povrchovou energii.

2.5.4 Beton

X-SEED 100 (výrobek firma BASF) je suspenze krystalu obsahující nanočástice (hydrát křemičitanu vápenatého) vytvořená za účelem podpory procesu hydratace cementu během prvních 6 – 12 hodin. Podporuje tuhnutí betonu při nízkých teplotách. Na rozdíl od tradičních akceleračních metod a díky jedinečnému způsobu působení má prakticky bezbariérový růst krystalů mezi cementovými zrny. Snižuje množství přidávaného cementu, zabraňuje vzniku ettringitu, snižuje schopnost adsorpce vody.

X-SEED 100 je optimalizován pro všechny druhy betonu zejména u konstrukčních prefabrikátů. Je vhodnou alternativou v ohřevné metodě vytvrzování a má silnou podporu hydratace a podporuje použití hnojiv. Má vyšší efektivitu ECO pro rostliny a výrobky snížením emisí CO_2 , umožňuje použití minimálního množství cementu, používá se všemi typy cementu. [21]

2.5.5 Ocel

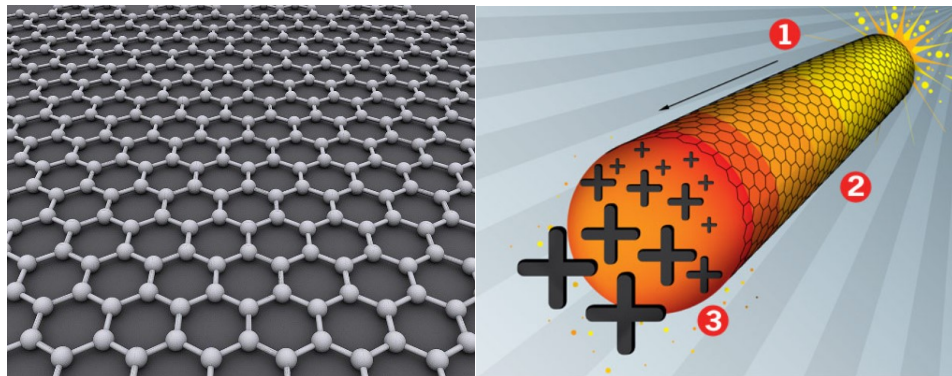
Nanoflex Power Corporation vyvíjí pokročilé solární technologie, které vytvářejí aplikace pro solární energii. Technologie nabízí vysoce kvalitní, estetické, tenkovrstvé solární roztoky v různých barvách, průhledných fóliích a tvarových faktorech. Vyrábějí vysoce odolný materiál s odolností proti korozi. Tepelným zpracováním (probíhá při nízké teplotě) po deformaci za studena se dosáhne extrémně vysoké pevnosti. Má vynikající tvářecí vlastnosti. Díky tomu je aplikován v tenké vrstvě, což způsobuje nižší hmotnost. Má dobrou odolnost proti opotřebení. Používá se pro lehké konstrukce (podvozek v mobilních systémech). PC-10 vede ke zlepšení požadovaných mechanických vlastností bez ovlivnění vnitřních vlastností termosetového polymeru (lesk a průhlednost). [22]

2.6 Energie

LiteWire je uhlíkový nanotrubičkový materiál (CNT), které nahradily grafen v kompozitech s celulózou. Jejich hlavní využití je pro výrobu konduktorů, aditiva do baterií a největší aplikace se očekává v tranzistorech.

Dynalene „nanodiamant“ je komerčně prodáván ve 2 zrnitostních třídách (jedná se o amorfni uhlík), který je využíván pro procesy iontové výměny a procesy biomedicíny Dynalen také vyrábí kationické nanočástice s vysokým nábojem a (DynaleneCNP) a anionické nanočástice (Dynalene ANP). Dynalen FC je používán pro chlazení palivových článků a elektroniky. K výrobě Dynalenu FC je použita nanotechnologie, které potlačuje tvorbu iontů dvěma mechanismy: použitím neinogenních korozních inhibitorů snižujících korozi a využití nanočástic s nábojem, které „sbírají“ a vážou volné ionty tak, aby byla zajištěna co nejnižší elektrická vodivost. [23]

Solární články NanoTech jsou první komerční aplikace pokročilé kombinace nanočástic. Využívají vrstvený grafen a uhlíkaté trubičky, které umožňují rychlejší pohyb elektronů než křemík a ukládají je do substrukтуры grafenu. [24]



Obrázek 7 Struktura grafenu a solární článek NanoTech. [25]

2.7 Úprava vody

Filtry „Nano-alumina“ využívají netkané filtrační médium obsahující termicky spojenou směs vláken z mikrovláken a skleněných vláken, která je dopovaná nanoaluminovými vlákny. Vlákná dosahují velikost 1-100 nm (průměr), jsou tvořena z Al_2O_3 nebo AlOOH nebo $\text{Al}(\text{OH})_3$. Výsledný filtrační materiál má velikost pórů 2 – 3 μm . Velikost pórů

odpovídá membránové technologii – ultrafiltraci. Výhodou nanovláken je vyšší rychlost průtoku při filtraci. Nanovlákná mají 2 oddělené atributy: používají se pro filtraci pitných vod – využívá se schopnost Al absorbovat různé kontaminanty a zároveň prodlužují životnost filtru. Elektrostatická síla umožňuje zachyt virů, které se vyskytují v submikronových velikostech nebo mají velikost nanočástic. [26]

Ozonix je patentovaný proces oxidace, který sestává ze 4 fází: tvorba ozonu, hydrodynamická kavitace, akustická kavitace a elektrochemický rozklad v reakční nádobě. Ecosphere Ozonix je alternativou, která nepoužívá chemikálie pro úpravu a čištění vod. Je využívána v oblasti těžby plynů, hornictví, zemědělství, a hlavně v komunálních čistírnách odpadních vod. [27]

2.8 Potraviny

Ochrana potravin před kontaminací je hlavním cílem balení potravin. Sklo, kovy, papír, karton a plasty patří mezi hlavní obalové materiály. Za nejrozšířenější obalový materiál lze považovat plasty, které se vyznačují odolností, nízkou hmotností a nízkými pořizovacími náklady. Mezi nejvýznamnější novinku v obalovém průmyslu patří zajištění biodegradabilních polymerů plněných nanoplňivy, které patří mezi „ekologicky šetrné výrobky“. Nano-biokompozity vykazují lepší vlastnosti než původní plasty, což je prokázáno jejich vyšší rezistencí a zvýšenou odolností proti průniku plynů. Vzhledem k předpokládanému rozšíření těchto výrobků je potřebné zjistit, jaký je potenciál migrace nanočástic k přechodu do potravin a jejich toxicita, kterou lze predikovat na základě ověření dynamiky chování nanočástic v lidském těle, jejich schopnosti metabolizace a mechanismů eliminace. Druhým významným problémem použití nanoplňiv v biodegradabilních polymerech je řízení jejich biodegradability a s tím spojený vliv na životní prostředí. Biodegradabilní polymery jsou vytvořeny z obnovitelných zdrojů a jednoznačně představují obalový materiál budoucnosti. Jejich původ je odvozen ze vstupních surovin nebo z technologie výroby, který je klasifikuje do třech skupin (Tabulka 2). Extrahované z přírodních materiálů, vyrobené klasickou chemickou syntézou z obnovitelných biomonomerů, vyrobené mikrobiální fermentací. Mezi nejvýznamnější materiály pro výrobu biodegradabilních polymerů patří polymléčná kyselina (vyrábí z dextrózy - cukru extrahovaného z biologických materiálů), škorb, celulóza, chitosa, agar a proteinů.

Obnovitelné biopolymery mají 3 hlavní problémy při jejich použití: odolnost, upravitelnost a cena výrobku.

Využití nanotechnologií v obalovém materiálu, který je v kontaktu s potravinou je nejvýznamnější aplikací v potravinářském sektoru. Je rozděleno do 4 kategorií: zlepšení vlastností balicího materiálu (zabránění průniku plynů, zlepšení mechanických vlastností), zvýšení antimikrobiálních vlastností a zabránění prostupu kyslíku přítomností nanoplňiva, zvýšení „intelligence“ obalového materiálu použitím nanosensorů a vytvoření kompozitu na bázi biodegradabilní polymer-nanoplňivo.

Nejrozšířenějším nanomateriálem používaným v obalových materiálech je nano-jíl (montmorillonit), který je dostupný, levný a výrazně zvyšuje schopnost úpravy materiálu a zlepšuje konečnou vlastnost – vyztužení obalového materiálu. Pokud se přidává v množství do 5% jsou jeho účinky pozitivní, při vyšším přidavku (10%) nanočástice aglomerují a snižují tak schopnost vyztužení obalového materiálu. [28]

Tabulka 2 Biodegradabilní polymery a příklady nejčastěji používaných nanomateriálů v obalové technice [29]

Skupina	Původ	Příklady	Nanočástice
I	Přímo extrahovány z přírodních materiálů.	Polysacharidy, škrob, celulóza, chitosan, agar, alginát, proteiny: collagen, casein, gelatin	Jíly a silikáty Cellulózové nanočástice
II	Vyrobené chemickou syntézou z obnovitelných bio-monomerů	Polylaktát, biopolyester vyrobený z monomeru kyseliny polymlečné, kyselina polyglykolová, polyvinylalkohol	Uhlíkaté nanotrubičky, SiO ₂ Nanokrystalky škrobu
III	Vyrobené mikrobiální fermentací	Polyhydroxyalkanoáty, polyhydroxybutyráty a kopolymery hydroxybutyráty a hydroxyvaleráty	Nanočástice chitinu a chotisanu

2.9 Zdravotnictví

Verigene je systém stanic pro identifikaci DNA, RNA a proteinů pomocí nanočástic Au. Je to první test, který umožňuje sledovat účinnost Warfarinu (přípravku na ředění krve) u pacientů.

Nanotrap je klinicky testovaný přípravek ke zjišťování lymfské boreliózy, kdy je testována moč. Nanočástice vážou protein A z moči. [30]



Nanotrap particles je sada nástrojů pro obohacování bílkovin, které lze integrovat do jakéhokoli procesu měření a analýzy. Představuje silnou sadu nástrojů pro výzkum zaměřený na objev a kvantifikaci známých a neznámých peptidů a bílkovin s nízkou hojností v řadě komplexních biologických kapalin včetně buněčných lysátů, moči a mozkomíšního moku. Tento systém je tvořen hydrogelových polymerů s jádrem a pláštěm, který má vysoce přizpůsobenou porézní strukturu navrženou pro optimální separaci na základě velikosti molekul bílkovin. Je to ideální nástroj, který rychle zpracovává vzorky proteinů s nízkou hustotou.

Nanoenkapsulace je technologií, která umožňuje vytvořit obal na různé materiály použitím jiného materiálu velikosti nanočástic. Tato technologie může být využívána v různých aplikacích, ale v současné době je využívána pouze z cca 10 % potenciálních aplikací. V současné době se používá hlavně ve farmaceutickém průmyslu, pro „balení“ vitamínů. Používají se následující postupy: obalování moci vosků a lipidů, fluidní lože, sprayování, nanášení hydrogelu. Kromě farmaceutického průmyslu se začínají objevovat i použití v potravinářském průmyslu. [32]

NanoMech vyvíjí úpravu povrchu pro implantáty, způsob nanášení je elektrostatický následovaný mikrovlnným slinováním. Zlepšuje mechanické vlastnosti a biologickou odolnost implantátu. Technologie zajišťuje lepší přilnavost a lepší kontrolu velikosti a struktury pórů nátěru. Zaměřili se na proces, který může při pokojové teplotě aplikovat nanočástice různých materiálů s mikrovlnovou nebo laserovou slinovací technologií k výrobě zubních implantátů s řízenou tloušťkou a vynikající přilnavostí. [18]

2.10 Optika

ZERODUR je anorganická, neporézní skleněná keramika (Li-Al-Si) vyráběná firmou SCHOTT, která využívá rovnoměrně rozložené nanokrystalů v zbytkové skleněné fázi. Tento materiál se používá v místech, které jsou náročné na přesnost (metrologie) a pro výrobu monolitických teleskopů v astronomii.

3 KLADY A ZÁPORY APLIKACÍ NANOČÁSTIC V TECHNOLOGIÍCH A VÝROBCÍCH

Unikátní vlastnosti vyrobených nanomateriálů (manufactured nanomaterials – MNM) a jejich specifické chování vede k jejich využití při výrobě barev, léčiv a rychlejší elektronice. Ze stejných důvodů MNM mohou představovat zdravotní riziko, neboť chování nanočástic je odlišné od běžných částic. Vyžadují jiné analytické metody pro identifikaci jejich nebezpečí, hodnocení rizika na základě expozice, které bude odlišné v porovnání s běžnými částicemi ze stejných materiálů. V současné době se na světě ročně vyrobí 11.4 mil. tun nanomateriálů, které musí ovlivnit pracovní prostředí (Tabulka 3).

Tabulka 3 Roční produkce MNM podle WHO Guidelines on Protecting Workers From Potential Risks of Manufactured Nanomaterials 2017

Pořadí	Nanomateriál	Roční produkce
1.	Saze (carbon black)	9.6 mil. t
2.	Syntetický amorfni křemík	1.5 mil. t
3.	Al ₂ O ₃	200 000 t
4.	Titanát barnatý (Ba-TiNts)*	15 000 t
5.	TiO ₂	10 000 t
6.	CeO	10 000 t
7.	ZnO	8 000 t
8.	Uhlíkaté nanotrubičky a nanovlákná	100 – 3 000 t
9.	Nano-Ag	20 t

Vysvětlivky: Alkalické titanáty vykazují excelentní schopnost iontové výměny, které je využívána pro fotokatalytické účely. [33]

WHO ustanovila skupinu (Guideline Development Group - GDG), která klasifikovala MNM do třech skupin:

Skupina se specifickou toxicitou

- MNM částice mají vysokou rychlost rozpouštění a uvolňují ionty, které snadno podléhají biodegradaci.
- MNM částice s pomalou rychlostí rozpouštění s vysokou toxicitou.
- MNM se specifickou toxicitou způsobenou specifickým chemickým složením.

Skupina, jejich částice mají charakter respirabilních vláken

- Tato skupina obsahuje bioperzistentní materiály, které tvoří vlákna o délce $> 5 \mu\text{m}$, průměru $< 3 \mu\text{m}$ a s poměrem délka/průměr > 3 . Mají specifickou tvrdost a krystalinitu. Tyto parametry nejsou zatím vyjádřeny žádným ukazatelem-normativem.

Skupina s granulovanými biopersistentními částicemi.

- Biologicky odolné částice, které jsou charakteristické nízkou rychlostí rozpouštění a zároveň nevykazují vysokou specifickou toxicitu.
- Respirabilní granulované (nikoliv vláknité) částice s nízkou rozpustností a toxicitou.

Vytvoření skupin MNM, které mají podobné vlastnosti je důležité v případě, že nejsou k dispozici informace o riziku při použití nových materiálů. [33]

MNM lze na základě rizika, které způsobují rozdělit na:

- Nanomateriály způsobující toxický vliv na orgány při opakované expozici
- Karcinogenita
- Buněčná mutagenicita
- Poškození očí
- Respirační problémy a poškození kůže

Tabulka 4 Definované limity nanočástic pro expozici inhalací (Guideline OSHA) [34]

	Hm. koncentrace ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Koncentrace částic (Částice/ml, vlákno/ cm^3)	Koncentrace na plochu (mm^2/cm^3)
Nano Ag – Stone (2014)	0.098	1200	2.2×10^6
Stone (2014)	0.33	4000	7.2×10^6
Stone (2014)	0.67	7000	1.2×10^7
Amorfní SiO_2 (nanosilica)	300		
TiO_2 – Aschberger (2011)	17		
TiO_2 – Kuempel (2006)	73		
	700		
TiO_2 - NIOSH	300		
TiO_2 – Ogura 2011			

3.2 Legislativní ochrana vůči působení nanočástic v pracovním prostředí

NIA neboli Nanotechnology Industries Association je společnost, která zajišťuje bezpečné, udržitelné a prospěšné využívání nanotechnologií a nanomateriálu ve všech průmyslových odvětvích. Usiluje o hospodářský rozvoj v aplikaci nanotechnologií a budování pozitivního globálního prostředí pro inovaci. [27]. Podílí se na pracovních jednáních OECD, která řeší problematiku standardizace vyráběných nanomateriálů ISO/TC 229 and CEN/TC 352 (Mezinárodní standardy v nanotechnologiích). Součástí aktivity NIA je vytvoření Regulatory Monitoring Database, která obsahuje až 40 legislativních předpisů.

- Interim Guidance for Medical Screening and Hazard Surveillance for Workers Potentially Exposed to Engineering nanoparticles – NIOSH 2009-116
- Nanomaterials in Maintenance Work: Occupational Risks and Prevention – E-fact 74
- Nanomaterials in the Healthcare Sector: Occupational Risks and Prevention – E-fact 73
- Tools for the Management of Nanomaterials in the Workplace and Prevention Measures – E-Fact 72

Materiály v přípravě:

- Evropská vědecká komise pro ochranu spotřebitelů předložila dokument: „Koloidní Ag a kopolymer na bázi styren/acrylat v nanoformě“ a dále TiO_2 (nano forma) jako součást UV-flitru ve spreji. V roce 2013 byla schváleno použití až 25 % TiO_2 v ochranných prostředcích proti slunečnímu záření, které nemělo působit žádné zdravotní potíže a způsobovat zdravotní rizika. Komise pro ochranu spotřebitelů nyní požaduje snížení na 5.5% TiO_2 .
- Evropská komise pro potravinářskou bezpečnost předložila návrh dokumentu „Hodnocení rizik při aplikaci nanověd a nanotechnologií v potravinách a potravních řetězcích: Část 1: Lidské zdraví a zdraví zvířat.
- Na základě požadavků Švýcarska se bude řešit problematika „Substance v nanoformě: urgentní revize REACH“.

Světová zdravotnická organizace (WHO) v současné době publikovala „Návod pro ochranu pracovníků před potenciálním rizikem při výrobě nanomateriálů – manufactured nanomaterials: MNM). [36]

4 RIZIKA NANOMATERIÁLŮ PRO LIDSKÉ ZDRAVÍ A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Rychlý technologický pokrok vede k ne vždy kontrolovanému uvádění nanotechnologií do životního prostředí, které může vést k nežádoucím účinkům běžné populace. Další problém je, že aktuálně platné bezpečnostní standardy vycházejí z limitních hodnot pro látky, z nichž se nanomateriály skládají, ale neberou v úvahu experimentálně ověřený fakt, že na rozdíl od větších částic mohou nanočástice v lidském těle pronikat do řady orgánů a tkání a vyvolat tam nežádoucí toxické účinky. [12]

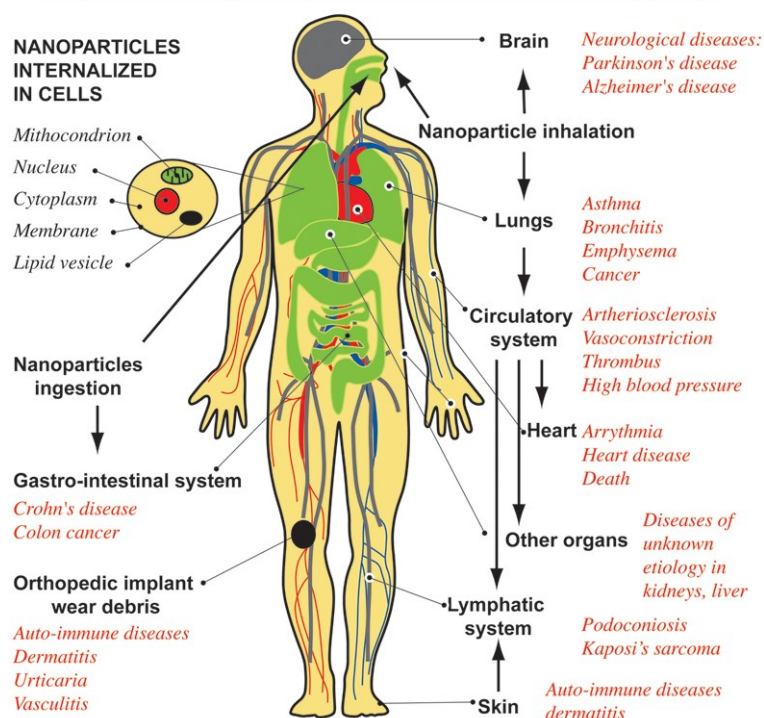
Nanočástice je důležité účelně dělit na ty, které vnikají jako nežádoucí produkt jiného procesu (hoření plynu, benzínu nebo nafty ve spalovacích motorech, domácí topení, v leteckých motorech, spalovnách odpadu) a na ty, které vznikají uměle připravované pro určitou aplikaci. V prvním bodě jde o významné znečištění životního prostředí s možnými zdravotními problémy pro obyvatele zasažené oblasti. Životní prostředí je také každoročně znečišťováno chemikáliemi ovlivňujícími negativně kvalitu půdy, vody a ovzduší. Tyto chemikálie podporují vznik různých forem rakoviny, vrozených poruch a reprodukčních abnormalit jak u zvířat, tak i u lidí. [16]

4.1 Vliv nanomateriálu na lidské zdraví

Na Obrázku 8 vidíme expoziční cesty vniku nanočástic do kůže (opalovací prostředky), plic, orální cesta (voda, potraviny). Do organismu nanočástice vstupují difúzí (hydrofobicita, velikost shluků) nebo membránovými přenašeči. Úroveň poškození je od sub-buněčné až po populační úroveň. Vstup do centrální nervové soustavy je možný všemi expozičními cestami. Dochází k různým typům poškození jako je např. degradace proteinů, poškození DNA, mitochondrie, oxidační stres (prokázán vliv na vznik Alzheimerovy, Parkinsonovy a Huntingtonovy nemoci). Dále je prokázán vliv nanočástic na játra (kumulace superferomagnetických částic) a krevní destičky (velmi reaktivní buňky s víceúčelovými povrchovými receptory pro aktivaci, inhibici mnoha agonistů). [9]

DISEASES ASSOCIATED TO NANOPARTICLE EXPOSURE

C. Bucea, I. Pacheco, & K. Robbie, Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity, Biointerphases 2 (2007) MR17-MR71



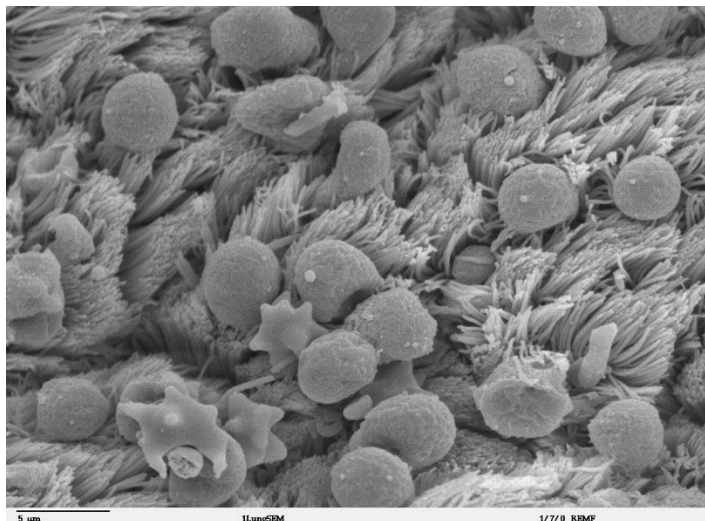
Obrázek 8 Cesty expozice nanočásticemi a možná přidružená onemocnění na základě in vivo a in vitro a epidemiologických studií [37]

Vysvětlivky k obrázku: Nanoparticles internalized in cells – nanočástice internalizované v buňkách, Mitochondrion – mitochondrie, Nucleus – jádro, Cytoplasm – cytoplazma, Membrane – membrána, Lipid vesicle – lipidové vezikule, Nanoparticles ingestion – přijetí nanočástic, Gastro-intestinal system – gastrointestinální systém, Crohn's disease – Crohnova nemoc, Colon cancer – rakovina tlustého střeva, Orthopedic implant wear debris – ortopedické implantáty s úlomky, Auto-immune diseases – autoimunitní onemocnění, Dermatitis – dermatitida, Urticaria – kopřivka, Vasculitis – vaskulitida, Brain – mozek, Neurological disease – neurologické onemocnění, Parkinson's disease – Parkinsonova choroba, Alzheimer's disease – Alzheimerova choroba, Nanoparticle inhalation – inhalace nanočástic, Lungs – plíce, Asthma – astma, Bronchitis – bronchitida, Emphysema – emfyzém, Cancer – rakovina, Circulatory system – oběhový systém, Artherosclerosis – ateroskleróza, Vasoconstriction – vazokonstrikce, Thrombus – trombus, High blood pressure – vysoký krevní tlak, Heart – srdce, Arrhythmia – arytmie, Heart disease – srdeční choroba, Death – smrt, Other organs – další orgány, Diseases of unknown etiology in kidneys, liver – onemocnění s neznámou etiologií v ledvinách, játrech, Lymphatic system – lymfatický systém, Podoconiosis – podokonióza, Kaposi's sarcoma – Kaposiho sarkomu, Skin – kůže, Auto-immune disease – autoimunitní onemocnění, Dermatitis – dermatitida.

Nejhůře postiženým orgánem inhalací nanočástic jsou plíce. V plicích pokusných krys po hodinové inhalaci iridiových nanočástic o průměru 15 nm byl zjištěn záchyt až $7 \cdot 10^{11}$ částic. V játrech, slezině, srdci, ledvinách a mozku bylo zjištěné množství iridia o 2-3 řády nižší. Nejvýznamnější cesta pro vstup nanočástic do organismu jsou dýchací cesty s cílovým orgánem plíce (velmi citlivé k toxinům). Částice větší než 10 nm se při vdechování přes sliznici přichytávají na skořepě nosní. Ze sliznice mohou být pak následně rytmickým

pohybem záchytných bičků přemístěny do úst. Menší částice a nanočástice < 100 nm, setrvávají v proudícím vzduchu směřujícím do průdušek lalokových a segmentálních a poté difundují jemnějšími průduškami do plicních sklípků, kde jsou postupně odstraňovány fagocytózou. Během toho jsou částice degradovány nebo jsou „hlenovým eskalátorem“ vyplavovány. U kuřáků dochází k tomu, že je hlenový eskalátor neustále zatěžován, a tím se zvětšuje počet hlenových žláz a buněk vylučující hleny. Tohle se děje i při inhalaci dráždivých substancí. Vzniká dispozice k bronchitidě. Pokud je množství částic příliš velké, dochází k zánětům a alveolární destrukci s následnou fibrózou. Hlavní příčinou lidských plicních onemocnění jsou inhalované nebiologické částice. [16]

Epidemiologické studie vyjasňují příčinu působení mezi akutním a chronickým vlivem nanočástic na respirační nemoci (zápal plic, aktivace obstruktivní plicní choroby a astma). Mimořádně závažný je vliv inhalovaných částic na kardiovaskulární systém, kterému je přičítán nejvyšší počet úmrtí ročně s jednoznačnou vazbou na expozici mikro- a nanočásticemi. Na úmrtnosti způsobené respiračními nemocemi (infarkt myokardu, srdeční arytmie a mozkové příhody) se rozhodující měrou podílí ultra jemné frakce částicových polutantů. Významnou tlumící roli má aglomerace nanočástic do větších útvarů, které pronikají obtížněji tkání. Rozměry aglomerátů závisí na povrchovém náboji, přítomnosti vhodného disperzního činidla nebo adsorpci na bílkoviny. [16]

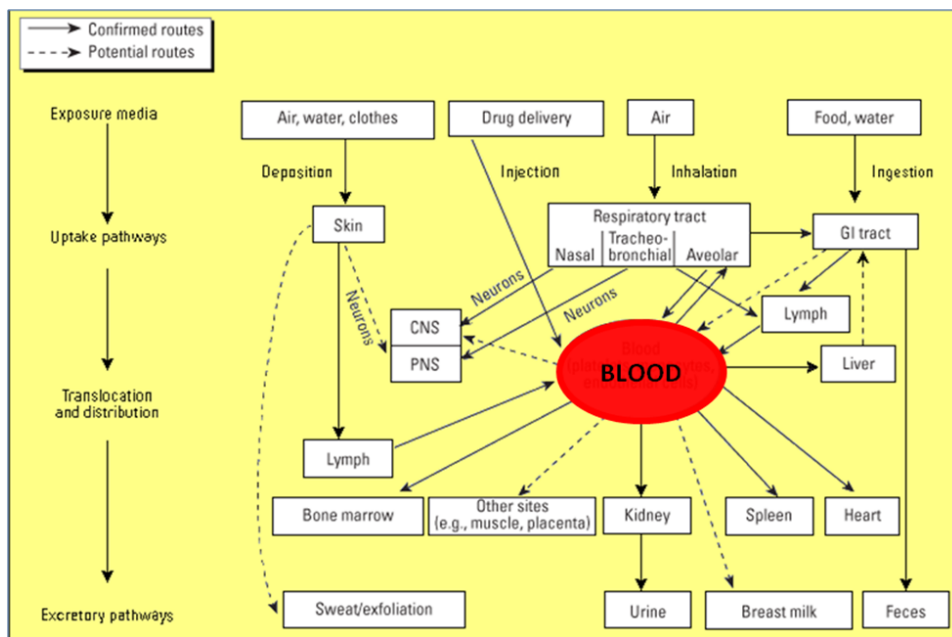


Obrázek 9 Respirační epitel – cylindrický s řasinkami [38]

Další epiteliální povrchy, kterými nanočástice prostupují je kůže, zažívací trakt a oční spojivky. Rozdíl mezi epitelem zažívacího traktu a respiračního traktu je v transportu výživy

realizovaný transbuněčně a parabuněčně. Prostup nanočástic je ovlivněn jejich složením a povrchovou charakteristikou epitelu.

Kůže je zajišťuje bezpečnou ochranu před průnikem částic z kosmetických přípravků. U respiračních epitelů i u kůže může být jejich integrita narušena, což zvyšuje jejich prostupnost pro mikro- a nanočástice s následným rizikem toxicity způsobující ekzémy, astma, záněty střev a celiakii. [16]



Obrázek 10 Nanočástice v lidském organismu [37]

Vysvětlivky k obrázku: Confirmed routes – potvrzené trasy, Potential routes – potenciální trasy, Exposure media – expoziční cesta, Uptake pathways – absorpční cesty, Translocation and distribution – translokace a distribuce, Excretory pathways – vylučovací dráhy; Air, water, clothes – vzduch, voda, oblečení; Drug delivery – poskytování drog, Air – vzduch; Food, water – jídlo, voda; Deposition – depozice, Injection – injekce, Inhalation – inhalace, Ingestion – požití, Skin – kůže, Respiratory tract – dýchací trakt, Nasal – nosní, Tracheobronchial – tracheobronchial, Alveolar – alveolární, GI tract – gi tract, Neurons – neurony, Lymph – lymfy, Liver – játra, Blood – krev, Bone marrow – kostní dřeň, Other sites – další stránky, Muscle – sval, Placenta – placenta, Kidney – ledviny, Spleen – slezina, Heart – srdce, Sweat/ Exfoliation – pocení/ exfoliace, Urine – moč, Breast milk – mateřské mléko, Feces – výkaly.

Rozdělení potencionálních rizik, které způsobují nanomateriálu:

- nebezpečí pro zdraví (toxicita),
- nebezpečí pro životní prostředí (ekotoxicita),
- fyzikálně-chemické nebezpečí, tzn. způsobení požárů, exploze, neřízené a nežádoucí reakce,

- v budoucnosti neetické využití nanotechnologií a nanočástic třetí osobou (kriminální nebo teroristický čin, válečný konflikt). [8]

Nanočástice přítomné v živém organismu vyvolávají řadu interakcí mezi jejich povrchem a biologickými systémy. Z pohledu toxicity mohou tyto interakce vést ke vzniku proteinových koron, obalování částic, vnitrobuněčné absorpci a biokatalytickým procesům, které mohou mít kladné nebo záporné výsledky. Dochází ke střetávání světa organického se světem syntetickým vyrobených materiálů. Mezi povrchy nanomateriálu a povrchy biologických komponentů (bílkoviny, membrány, lipidy, DNA, biologické tekutiny atd.) vznikají nano-bio rozhraní spojená s dynamickými fyzikálně-chemickými interakcemi, kinetickými a termodynamickými výměnami. Podle fyzikálně-chemických vlastností, vnitrobuněčných koncentrací, době trvání kontaktu mohou nanočástice způsobit široké spektrum vnitrobuněčných reakcí. [2]

V literatuře se vyskytují různé názory o vlivu nanočástic na zdraví:

Royal Commision on Environmental Pollution, 3/2009:

„ani důkladné monitorování dostupné vědecké literatury nepotvrdilo, že by nanomateriály poškozovaly lidské zdraví nebo životní prostředí, a není důvod uvažovat o plošném zákazu nebo omezení jejich užívání.“ [7]

Oproti tomu:

Lidové noviny, 20.8.2009:

„První úmrtí způsobená nanočásticemi. Sedm Číňanek provádělo postřik akrylátovými barvami s nanočásticemi, bez ochranných pomůcek. Nalezen zánět plic, fibróza a granulomy pleury. Příslušné nanočástice nalezeny v buňkách plicní tkáně a pohrudničním výpotku. Dvě ženy později zemřely.“ [7]

4.2 Biologické vlastnosti

Při interakci s buněčnými membránami či tkáněmi je velmi důležitý povrch nanočástic. Jelikož může dojít k mechanickému či chemickému poškození buněčné membrány např. oxidací. U biologicky aktivních látek může vést až ke změně konformace a tím i ovlivnění

jejich funkce. U DNA může mít interakce s nanočásticemi genotoxický či mutagenní účinek, v případě proteinů či enzymů dochází k inhibici jejich aktivit. [9]

Působení některých nanomateriálů může způsobit záněty, tvorbu plicních granulomů a fibrózu, oxidativní stres (poškození plic i kardiovaskulárního systému). Nanomateriály se mohou šířit podél nervů (po podání na nosní sliznici nález nanomateriálu v čichovém laloku). [7]

Nejvíce používaný materiál je TiO_2 , Ag a ZnO u kterých je studováno jejich toxické působení na bakterie *Escheria coli*, *Staphylococcus aureus*, fytoplankton *Anybaena Flosaquae*, řasy *Euglena gracilit* apod. Sledováno je na jejich toxické působení na bakterie, které mají schopnost kolonizovat téměř všechny povrchy a tvořit tzv. biofilm. Tento biofilm je tvořen různými druhy bakterií a jeho odolnost vůči antibiotikům je vyšší než odolnost jeho jednotlivých bakteriálních kmenů. K antibakteriální ochraně mohou být nanočástice umístěny do polymerní matrice, která má dobrou adhezi k chráněnému povrchu. Místo těchto polymerů je možnost použít uhlíkové částice s diamantovou strukturou, které mají výhodu mechanické stability a jsou biologicky inertní. Technologické postupy přípravy a složení antibakteriálních povlaků jsou velmi důležité z řady důvodů např. v medicíně kde je velký problém s tzv. nemocniční infekcí (nejpostiženější část je močový trakt). [16]

Nanočástice stříbra patří k nanomateriálům, které díky svým antibakteriálním působením úspěšně řeší tyto problémy s infekcemi. Mohou se také uplatnit při léčení řady nemocí včetně AIDS. Jejich antibakteriální schopnost vede ke snížení rizika infekcí u popálenin a doporučuje se jako prevence proti bakteriální kolonizaci různých povrchů např. katetrů, protéz a lidské kůže. Aplikací nanostříbra je velká spousta, přesto musí být současně posouzena i možná zdravotní rizika z jejich použití. Bylo zjištěno, že nanočástice stříbra zhoršují mitochondriální funkci, spotřebovávají antioxidanty a posilují tvorbu reaktivního kyslíku. Je možné že reaktivní kyslík může způsobit i poškození DNA a následnou cytotoxicitu. Působení nanočástic stříbra v živém organismu se může lišit u cévního endotelu (jednovrstvý epitel). Experimenty s různými nanomateriály dokazují, že inhalované nanočástice se mohou dostat až do mozku podél čichových nervů. V případě nano-Ag se projevuje cytotoxicita a snížení množství neurotransmiteru dopaminu v mozku s výslednými negativními důsledky. Při vyšší expozici byla pozorována toxicita ovlivňující činnost plic, jater a mozku. Určení přípustných dávek k léčebným účelům je komplikovanější. Nano-Ag

mohou nahradit nefunkční antibiotika. Při jejich léčebné aplikaci musí být zvažována míra rizika poškození organismu. [16]

Za méně toxické jsou považovány nanočástice TiO_2 , jejichž produkce je odhadovaná na 5000 až 6400 tun ročně. Jsou používány jako přídavky do nátěrových hmot, plastů, papíru, inkoustů, potravinových barviv, zubních past a pleťových krémů. Negativní vliv nanočástic TiO_2 se projevuje v plicích formou zánětů, ale byl také pozorován v ledvinách, játrech a mozku. Částečně jsou zánětlivé procesy způsobovány vznikem reaktivního kyslíku, který může být příčinou maligních změn. Tyto změny jsou připisovány plicním mitochondriím, ale přesný mechanismus nanočástic působících na mitochondrie není zatím znám. [16]

Nanočástice ZnO jsou využívány jako pigmenty, senzory, v budoucnu jako složky fotovoltaiických článků, transparentní elektrody, sluneční filtry apod. Mají velice zajímavé antibakteriální působení. [16]

4.3 Ekotoxicita

Právě výskyt nanočástic ve složkách životního prostředí umožní jejich kontakt s živými organismy. Chování nanočástic v životním prostředí je komplikován, neboť existuje mnoho neznámých faktorů a vlivů. Nanočástice lze charakterizovat:

- chemickým složením,
- funkčními skupinami na povrchu (hydrofilita, lipofilita),
- tvarem,
- distribučním rozložením částic,
- hustotou,
- krystalickou strukturou,
- zeta potenciálem,
- schopností agregace, aglomerace, sedimentace.

Tkaniny s nanostříbrem, které se praním vymývají nebo některé potraviny s životností prodlouženou nanosením nanočástic na jejich povrch jsou významným zdrojem znečištění životního prostředí prostřednictvím odpadních vod. Nejdůležitějším údajem pro posouzení toxicity je informace o množství. Řada látek je v malém množství netoxická, ale s rostoucím množstvím se začíná projevovat jejich toxicita. [16]

Švýcarští vědci se pokusili předpovědět koncentraci nanomateriálů v životním prostředí. Je potřeba získat více údajů o toxicitě v životním prostředí, aby mohlo být provedeno přesné posouzení potenciálních rizik z aplikace nanomateriálů. Existuje pouze velmi málo informací založených na reálných měřeních nanomateriálů v životním prostředí, přesto že množství aplikací nanomateriálů v komerčních výrobcích (kosmetika, textil a barvy) prudce vzrůstá. [39]

MNM	Akutní toxicita	Koroze kůže/ podráždění	Vážné poškození očí/ dráždění očí	Respirační nebo kožní senzibilizace	Mutagenita zárodečných buněk	Karcinogenita	Reprodukční toxicita	Specifická cílová orgánová toxicita (jednorázová expozice)	Specifická cílová orgánová toxicita (opakované expozice)
Fullereny	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Ne
SWCNT	Ne	Ne	Ne	Ne	Cat 2B ^c (L) ^d	Žádné data IARC 3	Žádné data	Žádné data	Cat 1 (L)
MWCNT	Ne	Ne	Cat 2A (H) ^e	Ne	Cat 2 (H)	MWCNT-7: Cat 2 (M), IARC 2B Jiné MWCNTs, IARC 3	Ne	Žádné data	Cat 1 (M)
AgNP	Ne	Ne	Ne	Cat 1B (M)	Ne	Žádné data	Ne	Žádné data	Cat 1 inhalace (H) Cat 2 oral
AuNP	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Cat 1 inhalace (H)
SiO ₂	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Žádné data	Ne	Žádné data	Cat 2 inhalace (H)
TiO ₂	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Žádné data, IARC 2B	Cat 2 (L)	Žádné data	Cat 1 inhalace (H)
CeO ₂	Ne	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Cat 1 inhalace (M)
Dendrimer	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data
Nanoclay	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data	Žádné data
ZnO	Ne	Ne	Ne	Žádné data	Ne	Žádné data	Ne	Žádné data	Cat 1 inhalace (M)

Obrázek 11 Klasifikace nebezpečných vlastností nanomateriálů (MNMS), které jsou zdokumentované v OECD [36]

Vysvětlivky:

AgNP – nanočástice stříbra

AuNP – nanočástice zlata

CeO₂ – oxid ceričitý

MWCNT – vícevrstvé uhlíkové nanotrubičky

SiO₂ – oxid křemičitý

SWCNT – jednovrstvé uhlíkové nanotrubičky

TiO₂ – oxid titaničitý

ZnO – oxid zinečnatý

Ne – na základě údajů žádná třída nebezpečnosti

Žádná data – v dokumentech OECD nejsou k dispozici žádné studie

Cat 1 – obvykle znamená vážné a, nebo nezvratné škody

Cat 2 – mírnější nebo vratné poškození

V rámci kategorie A znamená vážnější a B mírnější poškození.

L – nízká úroveň důkazů

IARC – kategorie důvěryhodnosti v karcinogenitě Mezinárodní agentury pro výzkum rakoviny

IARC Cat 2B – případně karcinogenní

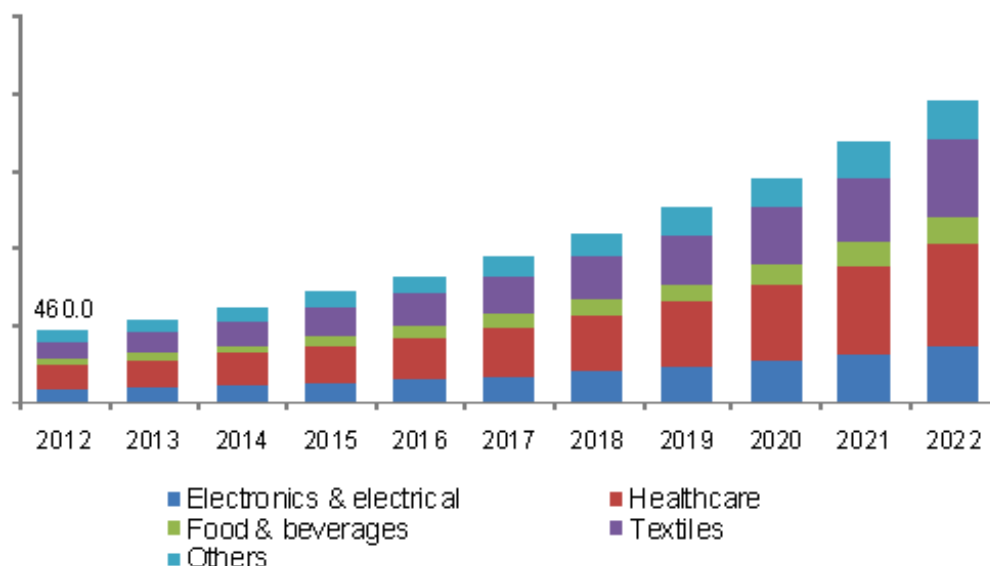
IARC Cat 3 – nejsou dostatečné důkazy

M – střední míra důkazů

H – vysoká úroveň důkazů

5 POUŽITÍ NANOMATERIÁLU

Nanotechnologie a nanomateriály se hojně využívají v širokém spektru jako je např. elektronika (paměťové média, spintronika, bioelektronika, kvantová elektronika), zdravotnictví (cílená doprava léčiv, umělé klouby, chlopně, náhrada tkání, desinfekční roztoky, analyzátory, ochranné roušky), strojírenství (nové izolační materiály, samočistící fasádní nátěry), chemický průmysl (nanotrubice, nanokompozity, selektivní katalýza), textilní průmysl (nemačkávé, hydrofobní a nešpinící články), optický průmysl (optické filtry, fotopické krystaly, integrovaná optika), automobilový průmysl (nesmáčivé povrchy, filtry čelních skel), kosmický průmysl (katalyzátory, odolné povrchy satelitů), vojenský průmysl (nanosenzory, konstrukční prvky raketoplánů), životní prostředí (odstraňování nečistot, biodegradace), atd. [5]



Obrázek 12 Rozdělení výrobků obsahujících nanočástice dle oblasti využití [13]

Oblast s nejvyšším rozvojem aplikací je elektronika, informatika a medicína. V medicíně se výzkum zaměřuje na transport diagnostických a terapeutických látek na žádané místo v organismu s minimálními vedlejšími účinky. [5]

Nařízení REACH se vztahuje na látky, jejichž některé formy nebo všechny formy jsou nanomateriály. Nařízení CLP stanoví povinnost oznámit ECHA (Evropská agentura pro chemické látky) látky ve formách v jakých jsou předvedeny na trh, včetně nanomateriálů, které splňují kritéria pro klasifikaci jako nebezpečné, bez ohledu na množství. [9]

Tabulka 5 Používané nanočástice [40]

Materiál	Funkce	Aplikace
Stříbro	Biocid	Léčba ran, protéza, kontrola zápachu
Oxid titaničitý	Fotokatalyzátor, optika	Kosmetika, opalovací krém, farmaceutické přípravky
Oxid železa	Superparamagnetické	Elektronika, biomedicína
Kvantové tečky	Polovodič, fluorescence	Elektronika
Uhlíkové nanotrubičky/ vlákna/ fullereny	Mimořádná síla, jedinečné elektrické vlastnosti, efektivní tepelné vodiče	Zdraví a fitness, elektronika, automobilový průmysl, architektura
Dendrimery, (opakovaně rozvětvené molekuly)	Určené jejich funkčními skupinami	Systémy doručování léků, tkáňové inženýrství

5.1 Expozice při aplikaci nanomateriálu na pracovištích

K expozicím dochází zatím jen historicky krátkou dobu, ale doba expozice, a zvláště počet exponovaných prudce narůstají. K manipulacím dochází nejen v laboratořích, ale i na běžných pracovištích. [7]

Abychom určili toxické účinky chemických látek bývá standardně určována koncentrace dané látky a doba trvání expozice. U nanočástice je však, kromě stanovení dávky a doby expozice, nutné charakterizovat fyzikálně-chemické vlastnosti hodnocených částic. Je nutné měřit hmotnostní koncentraci, počet částic na jednotku objemu, velikost částic (počet, objem) a počet částic na jednotku plochy či specifickou plochu povrchu (poměr hmotnosti k velikosti plochy nanočástic). [12]

5.2 Ochrana pracovišť

Při vývoji přípravy speciálních nanočástic jsou ohroženi výzkumní pracovníci, kteří se tomuto úkolu věnují bez potřebných bezpečnostních informací. Všechny technologické

ústavy se snaží před možnými riziky ochránit různými vzduchotechnickými systémy, filtrací vzduchu apod. Jestliže je vakuové čerpání „suché“, nanočástice proletí i čerpacím systémem a mohou kontaminovat laboratoř nebo odvětráváním znečišťují okolí pracoviště. Částice na výstupu z aparatury by měly být odlučovány kapalinovým pohlcovačem. Přesto se po otevření reaktoru část nanočástic z kondenzační zóny za pecí dostane do laboratorní atmosféry. Podobné problémy mohou existovat u jiných metodik přípravy materiálů z plynné fáze. Další problém se týká práce s nanočásticemi v digestoři. K. Savolainen představil na pražské konferenci o nanotoxicitě řešení, které zajišťuje pracovníkovi nezávislý přívod vzduchu pro velmi náročné aplikace. Počet laboratoří a provozů s nanotechnologickým programem na celém světě stále roste a snaha výrobců o komerční úspěch předhání složitá vyšetření zdravotních rizik nových produktů. Mělo by být povinností státu zajistit dostatečný počet kontrolních pracovišť, která by situaci sledovala. V roce 2017 bylo v manuálu OSHA Guideline vydefinováno počet kontrol na pracovišti vzhledem k charakteru nano-výrobků a množství produkce.

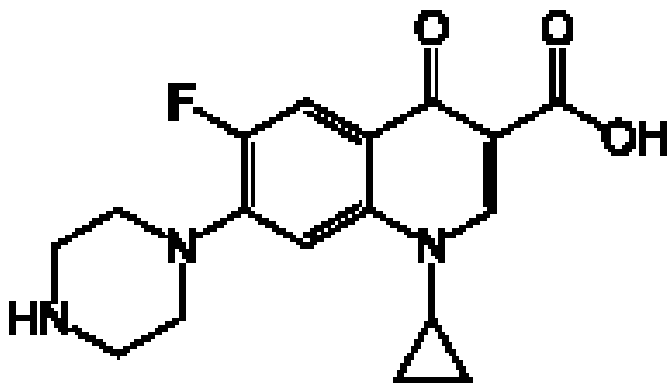
5.3 Čištění odpadních vod

Za odpadní vodu je považována voda kontaminovaná znečišťujícími látkami např. organickými a anorganickými materiály, patogeny, těžkými kovy a dalšími toxiny. Užívání odpadní vody ohrožuje lidské zdraví a může způsobovat nějaká onemocnění. Používání nanotechnologií pro čištění odpadní vody se stále více rozšiřuje. [41]

Nanomateriály jsou velmi účinné jako separační médium pro čištění vody, jelikož vykazují řadu klíčových fyziochemických vlastností. Mají velký poměr povrchu k hmotnosti, k němuž dochází v důsledku snížení velikosti částice adsorbentu z rozměrů objemu na nanoúrovni. To vede k dostupnosti vysokého počtu atomů nebo molekul na povrchu kontaminantů, a tím se zvyšuje adsorpční kapacita sorbentů. Tento povrch poskytuje příležitost k vývoji účinnějších katalyzátorů na čištění vody a redox aktivních médií. [41]

5.3.1 Využití nanočástic ZnO k odstranění bakteriálního znečištění

Bylo prokázáno, že nanočástice oxidu zinečnatého zvyšují aktivitu antibakteriálního činidla nazývaného ciprofloxacin (protilátka, která působí proti bakteriálním kmenům *Staphylococcus aureus* a *Escherichia coli* vyskytující se v 6% pitné vody).



Obrázek 13 Chemická struktura ciprofloxacinu [41]

Bakteriální prameny jako je *Staphylococcus aureus* a *Escherichia coli* mohou způsobit zimnici, nízký krevní tlak, horečku a průjem. Konvenční metody pro odstranění tohoto bakteriálního znečištění vyžadují použití suspenze nanočástic nebo UV záření. ZnO se rozpouští za nepřítomnosti světla a uvolňuje Zn^{2+} , které mají antibakteriální vlastnosti. Ionty Zn^{2+} proniknou do buněčných membrán bakterií a brání růstu. [41]

6 NANOWASTE

Nanočástice se používají v různých odvětvích průmyslu. Jsou přidávány do spousty výrobků a vzhledem k tomu, že tyto výrobky mají svou životnost, bude velmi obtížné zabránit uvolňování nanočástic do životního prostředí. Velikost těchto částic umožňuje silnou interakci s biologickými strukturami, a proto existuje předpoklad vzniku celé řady potenciálních lidských a environmentálních zdravotních problémů spojených se vznikem nanoodpadu. [42]

Švýcarská studie publikovaná v roce 2010 zkoušela modelovat koncentraci některých běžných typů nanočástic končících v prostředí. Tato studie také zjistila, že výskyt nanočástic závisí na jejich použití. Nanočástice oxidu zinečnatého se hromadí v kalech z ČOV, který se používá na polích jako hnojivo. Uhlíkové nanotrubičky většinou končí na skládce. [42]

Vzhledem k obtížím při zjišťování nanočástic v prostředí je zapotřebí více informací o vlastnostech nanočástic, které se používají v různých výrobcích. Součástí výroby výrobku s použitými nanomateriály by měly být plány na obnovu a recyklaci nanomateriálů. Výrobky by měly obsahovat nanočástice v takové formě, aby byly snadno odděleny a znovu použity.

Některé nanočástice jsou dražší než zlato, takže recyklace těchto částic by byla pro výrobce velmi úsporná. Profesor Julian Eastoe z univerzity v Bristolu a jeho kolegové se zabývali vývojem speciálního typu mikroemulze, směsi oleje a vody, která může výrobcům usnadnit obnovu, recyklaci a opětovné použití nanočástic. Laboratorní testy s použitím nanočástic kadmia a zinku ukazují, jak se olej a voda v mikroemulzi rozdělí do dvou vrstev při zahřátí (jedna vrstva obsahovala nanočástice). Získané částice si zachovávají tvar a chemické vlastnosti, což je zásadní pro jejich opětovné použití. Tato nová metoda by měla urychlit aplikaci nanotechnologie v nových generacích solárních článků, flexibilních elektronických displejů apod. [43]

Obnova a recyklace nanočástic je obtížná, jelikož mají tendenci vytvářet složité a těžko oddělitelné vazby s jinými látkami. Proto byl navržen nový druh rozpouštědel, který je vhodný pro nanotechnologie. Velkou výhodou této metody je, že se při její aplikaci zachová struktura a stabilita částic umožňující recyklaci. Dále umožňuje oddělit a obnovit nanočástice změnou teploty. [43]

V roce 2010 publikovali výzkumníci z Bristolské univerzity proces na separaci nanočástic kadmia a zinku pomocí speciálního rozpouštědla. Rozpouštědlo je stabilní mikroemulze skládající se z oleje a vody, která se při ohřátí rozpadá na dvě vrstvy. Nanočástice v roztoku se nahromadí do jedné vrstvy, a to umožní jednoduché oddělení. Podobný postup využil v roce 2011 výzkumný tým z Pákistánu. Použili techniku nazývanou extrakce v bodu zákalu pro separaci nanočástic zlata a palladia z vodného roztoku. Bod zákalu emulze nastává tehdy kdy jsou obě fáze na hranici mezi úplným promícháním a tvorby dvou vrstev, a to způsobuje zakalení roztoku. Roztok nanočástic se zahřeje na tento bod, oddělení vrstev a extrakce nanočástic probíhá centrifugací. [42]

7 BAREVNÉ PIGMENTY A NANOČÁSTICE

Česká firma, která se zabývá nanotechnologií a využitím nanočástic v barvách je firma Nano4people. Jejich cílem je patřit mezi špičková centra pracující s nejnovějšími poznatky vědy a moderní nanotechnologie v oblasti péče o zdraví a čistý vzduch. Tyto nátěry představují druhou generaci nátěrových hmot s fotokatalytickým efektem. [45, 46]

Aplikace TiO_2 pro fotokatalytickou oxidaci je technologií, která je značně rozšířena za účelem deaktivace biologických polutantů (plísně a houby). Samotná fotokatalytická reakce je z hlediska dosažení úplné desinfekce nedostatečná, plísně a houby mohou být úplně odstraněny až v kombinaci s UV zářením (365 nm). [44]

Jedno z odvětví, kterým se tato firma zabývá jsou nano nátěry/ nástříky do interiérů. Nano nátěry/ nástříky vznikly uplatněním nejnovějších poznatků v oblasti nano-technologie. Jejich důležitou funkcí je, že čistí vzduch od organických těkavých látek, mají antibakteriální vlastnosti (zabraňují množení virů, bakterií, plísní). Vytváří hygienicky nezávadné, čisté a zdravé prostředí. Jsou efektivnější než běžná čistička vzduchu (likviduje kouř, redukuje zápach) a má samočisticí vlastnosti. [45]

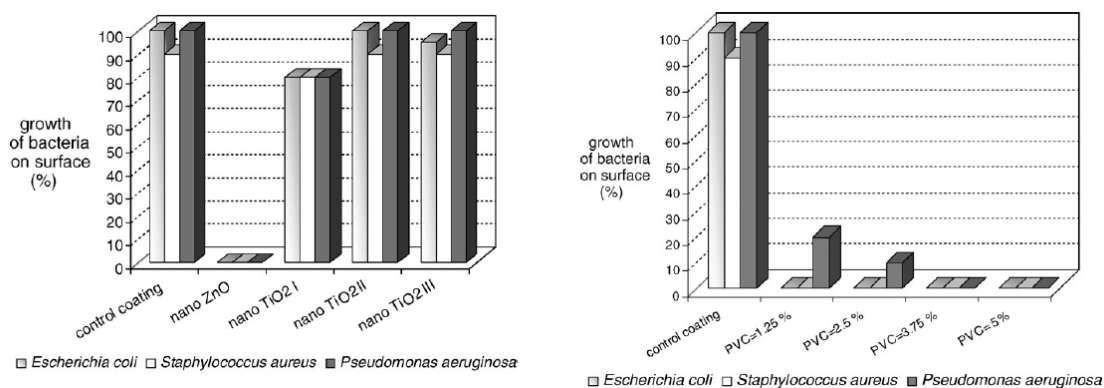
Nátěry nepotřebují žádnou údržbu a jejich účinnost se snižuje pouze pokud se mechanicky poškodí. Suspenze jsou ekologicky šetrné k životnímu prostředí, pH mají neutrální a neobsahují žádná organická rozpouštědla. Dokonce bylo naměřeno, že 10 m^2 ošetřených Nano částicemi TiO_2 dokáže za rok vyčistit cca 1 miliardu m^3 vzduchu. [45]

Další kde se tyto nátěry využívají jsou na fasádách a střeších budov. Fasáda natřená tímto nátěrem získá silnou samočisticí schopnost. Nečistoty ze vzduchu znečištěného automobilovou dopravou, spalováním fosilních paliv a průmyslovými provozy se usazují na povrchu fasád a střeších dokážou velmi rychle znehodnotit vzhled. Tryba et al. (2014) prokázali, že fotokatalytické působení TiO_2 může rozložit benzo(a)pyren (PAU). Pokud je povrch ošetřen tímto nátěrem desinfekce začne působit až po aktivaci ultrafialovým zářením, které je součástí běžného denního světla. [46, 47]

V samočisticím efektu vytváří saze a další prachové částice obsažené ve vzduchu shluky částic, které díky svému lepivému povrchu snadno drží na fasádách. Pokud je na fasádě povrch aktivován, dojde k reakci poletujících saze nebo částice nečistot se vzdušným kyslíkem. Dojde k rozkladu na molekulu vody, oxid uhličitý a další neškodné látky. Neoxidovatelné

prachové částice se nedokážou přichytit na fasádu a jsou odstraněny větrem nebo deštěm. [46]

Účinnost odstranění bakterií (antimikrobiální efekt) použitím polyakrylátových barev s nanočásticemi (TiO₂ a ZnO) v interiéru sledovali Hochmanová et al. 2010. Z výsledků uvedených na obr. 16 vyplývá, že nanoZnO vykazuje excelentní antibakteriální vliv.



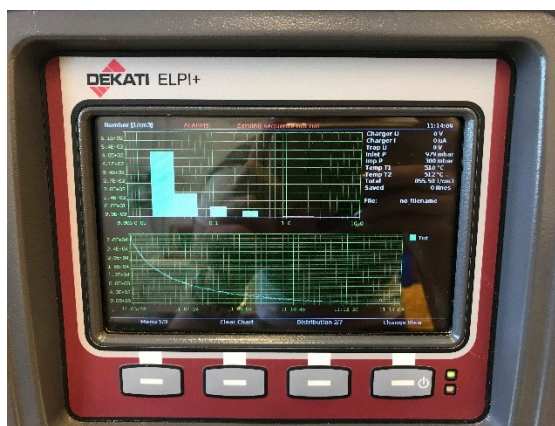
Obrázek 14 Antimikrobiální vliv při použití různých nano-pigmentů u akrylátových barev v interiéru [48]

8 PRAKTICKÁ ČÁST

Centrum ENET bylo osloveno firmou nano4people pro určení množství nanočástic ve vnitřním prostředí. Odběr prachových částic byl proveden elektrickým nízkotlakovým kaskádovým impaktorem neboli ELPI⁺ od firmy DEKATI. Pro určení hmotnostní distribuce na částic PM v jednotlivých zrnitostních třídách byla použita gravimetrická metoda. Vzorky byly váženy na ultra-mikrováhách firmy Mettler Toledo XP6U/M s váživosti 6100 mg a odečitelnosti 0.1 µg.

8.1 Metodika praktické části

ELPI⁺ (elektrický nízkotlaký kaskádový impaktor) je spektrometr používaný pro měření distribuce velikosti částic. Zařízení je možno použít jako on-line (požití informací o počtu částic, objemu částic, hmotnosti částic ze softwaru přístroje) nebo také jako off-line zařízení (záchyt prachových částic, které mohou být následně podrobeny chemickým analýzám). Princip fungování přístroje zní: Nejdříve PM prochází koronovou nabíječkou, kde jsou částice nabity na známý náboj. Následně jsou PM tříděny v nízkotlakém kaskádovém impaktoru v závislosti na jejich aerodynamickém průměru. Jednotlivé impaktorové fáze jsou elektricky odizolovány a ke každé je připojen citlivý elektroměr. Odebírané částice produkují elektrický proud, který je zaznamenáván právě pomocí elektroměrů. Zaznamenávaný proud je přímo úměrný koncentraci částic v jednotlivých fázích impaktoru. Přístroj ELPI⁺ je schopen vytrdit částice do 14 velikostních tříd, a to v rozsahu od 17.5 nm do 9.93 µm, viz Obrázek 15. [49]



Obrázek 15 Elektrický nízkotlakový impaktor ELPI⁺

Na Obrázku 16 je dokumentován impaktor s dělením do patnácti zrnitostních tříd. Hrubozrnné částice jsou zachyceny v horních částech impaktoru naproti tomu jemnozrnější částice procházejí níže do impaktoru a nanočástice jsou odseparovány v nejnižších částech impaktoru.



Obrázek 16 Rozložený impaktor

Obrázek 17 dopodrobna ukazuje velikosti otvorů jednotlivých fází impaktoru, kterými přístroj klasifikuje částice podle velikosti od hrubozrných PM, přes jemnozrné až po nanočástice a tyto částice se následně zachytávají ve shluku na hliníkové folii pro ELPI⁺ (Aluminium foils, Ø 25 mm Collection foils for ELPI⁺TM) jak je vidět na Obrázku 18.



Obrázek 17 Třídění částic v impaktoru

Měření probíhalo v Paskově v uzavřené místnosti firmy Nano4people o ploše cca 20 m², kde byla na stropy použita barva Protectam FN3-3I. Vlastní měření bylo rozděleno na 4 etapy,

před aplikací nátěru, během aplikace nátěru, po aplikaci nátěru a kontrolní odběr. Měření dohromady trvalo 10 dnů.

Výsledky hmotnostní distribuce částic získané měřením byly zpracovány v programu Excel Microsoft office a Origin 8.5. V tabulce 6 jsou uvedeny velikostní rozsahy pro jednotlivé zrnitostní třídy.



Obrázek 18 Hliníková sběrná folie s odebranými PM

Veškeré částice zachycené impaktorem vyjádřené koncentrací PM₁₀ jsou uvedeny v Tabulce 6. Z tabulky je zřejmé, že před aplikací nátěru se v místnosti vyskytovala nejvyšší koncentrace částic PM₁₀.

Tabulka 6 Zrnitostní třídy odebíraných prachových částic

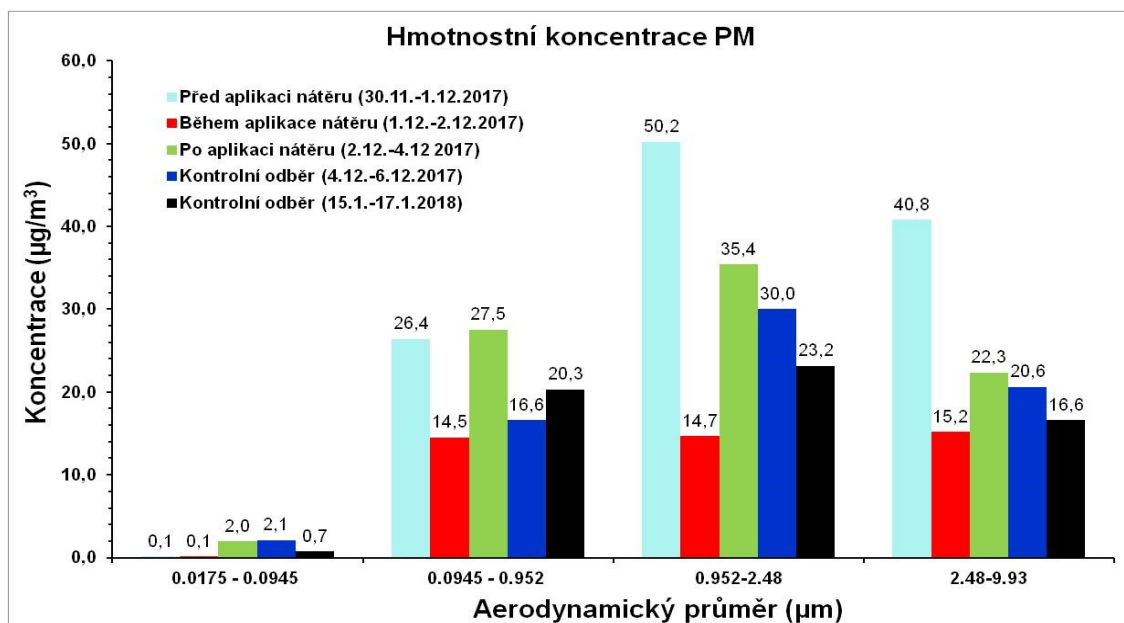
Třída	D 50% (μm)	Zrnitostní třída (μm)	Poznámka
1	0.006	0.006-0.0175	Není zahrnuto v hmotnostní koncentraci, pouze v počtu částic (vyhodnoceno přístrojem)
2	0.0175	0.0175-0.0307	Počet částic, hmotnostní koncentrace
3	0.0307	0.0307-0.0539	Počet částic, hmotnostní koncentrace
4	0.0539	0.0539-0.0945	Počet částic, hmotnostní koncentrace
5	0.0945	0.0945-0.156	Počet částic, hmotnostní koncentrace
6	0.156	0.156-0.258	Počet částic, hmotnostní koncentrace
7	0.258	0.258-0.384	Počet částic, hmotnostní koncentrace
8	0.384	0.384-0.606	Počet částic, hmotnostní koncentrace
9	0.606	0.606-0.952	Počet částic, hmotnostní koncentrace
10	0.952	0.952-1.64	Počet částic, hmotnostní koncentrace
11	1.64	1.64-2.48	Počet částic, hmotnostní koncentrace
12	2.48	2.48-3.67	Počet částic, hmotnostní koncentrace
13	3.67	3.67-5.39	Počet částic, hmotnostní koncentrace
14	5.39	5.39-9.93	Počet částic, hmotnostní koncentrace
15	>9.93	>9.93	Není zahrnuto v počtu částic ani pro hmotnostní koncentrace
průtok (l):	9.88		

Když se podíváme na Tabulku 7 vidíme, že celková koncentrace částic PM₁₀ před aplikací byla 117.11 μg/m³, během aplikace nátěru došlo ke snížení koncentrace prachových částic, což lze přisoudit schopnosti použitého nátěru pohlcovat prachové částice a mikroorganismy. Během měření po aplikaci nátěru došlo k mírnému zvýšení koncentrace částic, tento fakt je s největší pravděpodobností spjat s usycháním nátěru a vířením částic v místnosti. Koncentrace částic zjištěné ve dnech 4.-6.12.2017 a 15.-17.1.2018 jsou téměř srovnatelné. Porovnáme-li koncentraci částic před aplikací nátěru (117.11 μg/m³) a po aplikaci (60.81 μg/m³), vidíme velmi pozitivní účinek a funkčnost nátěru, který je schopen snížit množství prachových částic v ovzduší.

Tabulka 7 Početní distribuce částic aplikace nátěru

	Před aplikací nátěru	Během aplikace nátěru	Po aplikaci nátěru	Po aplikaci nátěru	Kontrolní odběr
Info:	30.11.- 1.12.2017	1.12.- 2.12.2017	2.12.- 4.12.2017	4.12.- 6.12.2017	15.1.- 17.1.2018
Začátek:	30.11.2017 9:53	01.12.2017 9:30	02.12.2017 9:21	04.12.2017 8:42	15.1.2018 9:18
Konec:	01.12.2017 9:08	02.12.2017 9:05	04.12.2017 8:27	06.12.2017 8:36	17.1.2018 9:14
Σ PM₁₀	117.11 µg/m ³	44.13 µg/m ³	87.64 µg/m ³	69.38 µg/m ³	60.81 µg/m ³

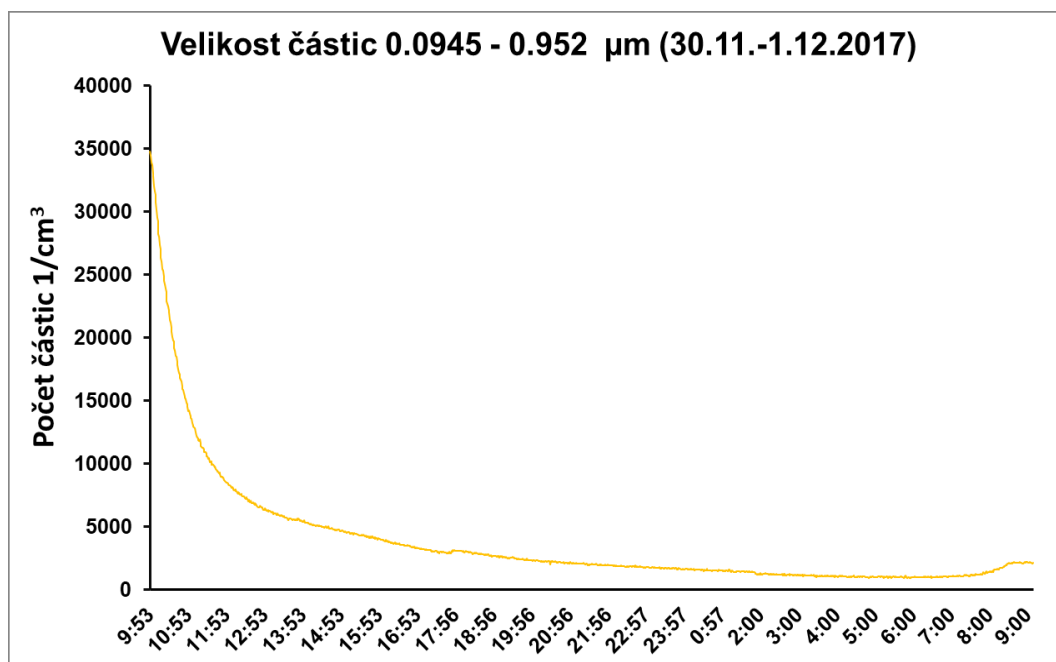
Na obrázku 19 jsou uvedeny hmotnostní koncentrace částic v jednotlivých zrnitostních třídách během odběrů PM 30.11.2017-17.1.2018. Největší hmotnostní úbytek částic po cca dvou měsících od aplikace nátěru lze pozorovat ve třídě 1 -2.5 µm (cca 50%) a ve třídě 2.5 – 10 µm (cca 60%). Nejmenší vliv byl pozorován u nanočástic (do 100 nm).



Obrázek 19 Hmotnostní koncentrace prachových částic během jednotlivých odběrů

Prachové částice jsou podle velikosti členěny na superhrubozrné částice (> 10 µm), částice hrubozrné (2.5 – 10 µm), částice v akumulacím režimu (0.1 – 2.5 µm), částice v Aitkenově

modu – ultrajemnozrné (10 – 100 nm, jsou ovlivněny procesy kondenzace a koagulace a vyskytují se především v oblastech zatížených dopravou). [50]

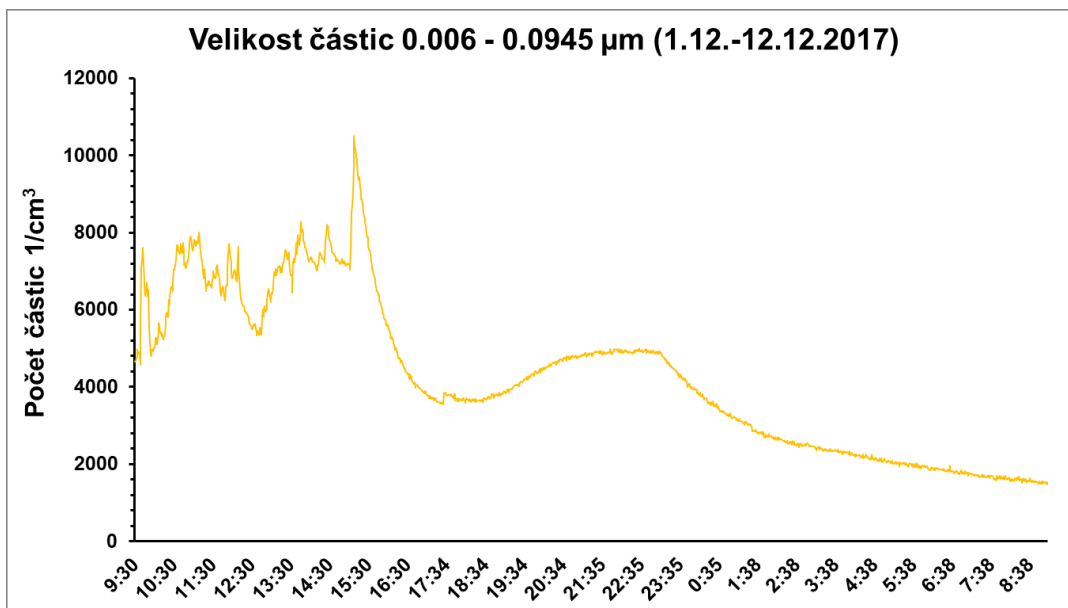


Obrázek 20 Vývoj počtu nanočástic (0,006-0,0945 μm) před aplikací nátěru

Na obrázcích 20, 21, 22, 23 a 24 jsou znázorněny celkové počty částic ve třídě 0,006-0,094 μm během jednotlivých odběrů.

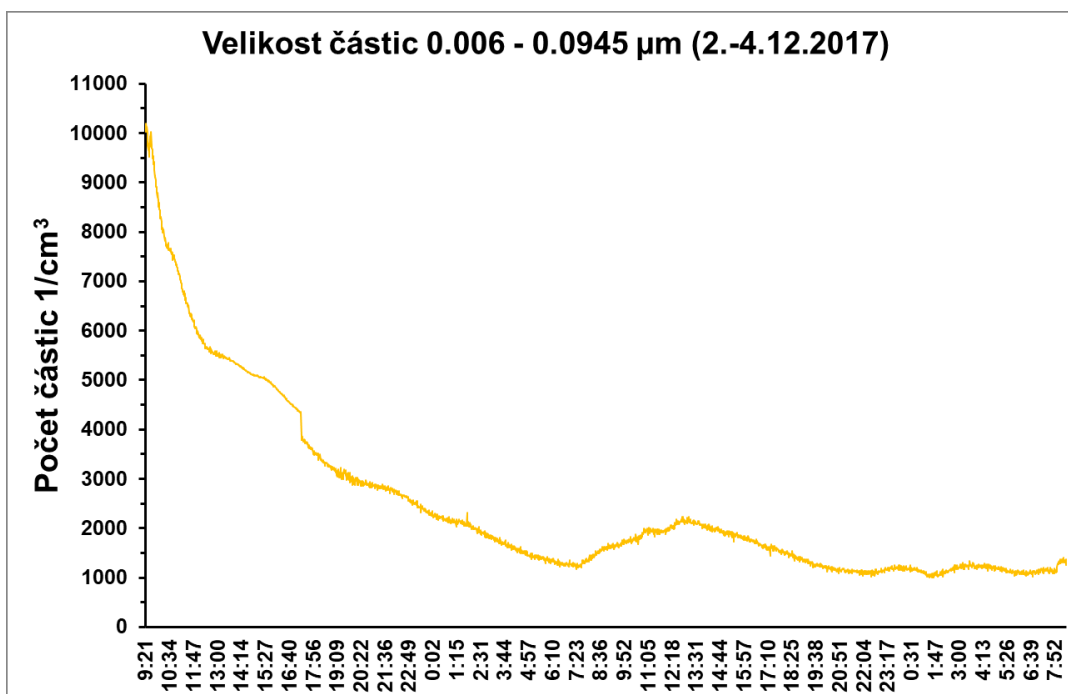
Jelikož se zabývám nanočásticemi, znázornila jsem graficky pouze částice o rozměrech 1 – 100 nm. Měření nanočástic před aplikací nátěru viz Obrázek 20 začíná na 35000 částic na cm³ a prudce klesá. Tak vysokou hodnotu v rámci dalších měření nenajdeme, což přisuzuji funkci nátěru.

Na Obrázku 21 (počet částic během aplikace nátěru) je patrný zvýšený počet částic, což je s největší pravděpodobností spjato se zvýšeným pohybem osob ve sledované místnosti a také s provedením vlastního nátěru.



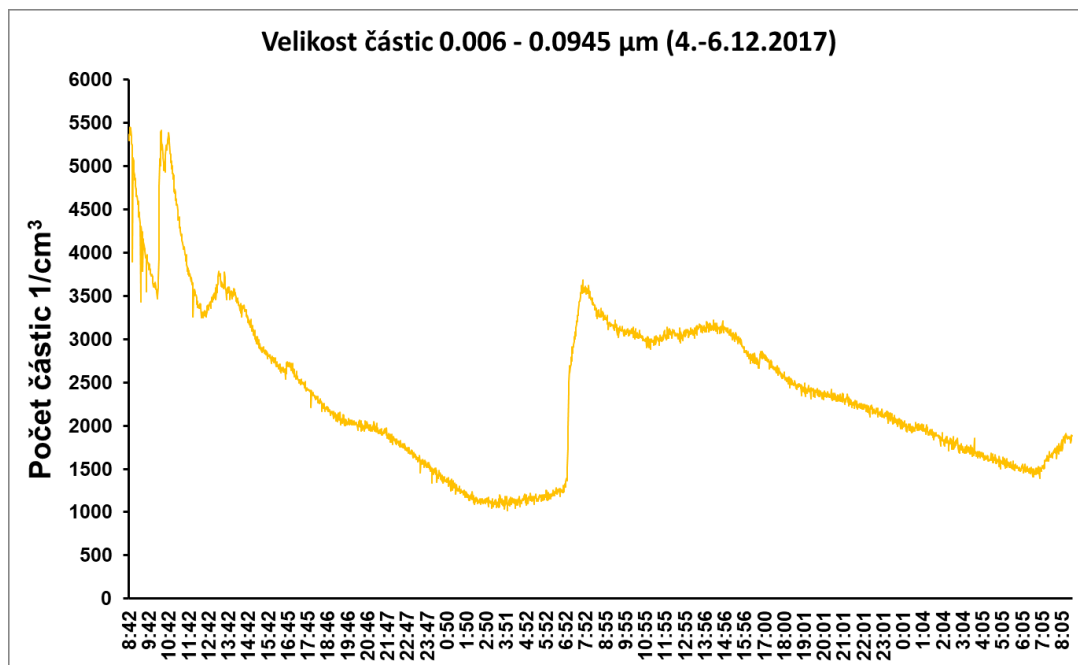
Obrázek 21 Vývoj počtu nanočástic (0,006-0,0945 µm) během aplikace nátěru

Po aplikaci nátěru viz Obrázek 22, došlo ke snížení počtu nanočástic v průběhu dne. Tato skutečnost lze přisoudit pozitivnímu působení nátěru na počet částic ve sledované místnosti. Je to dáno působením světla – fotokatalytický efekt TiO_2 , rozklad částic organického původu na CO_2 . [44]



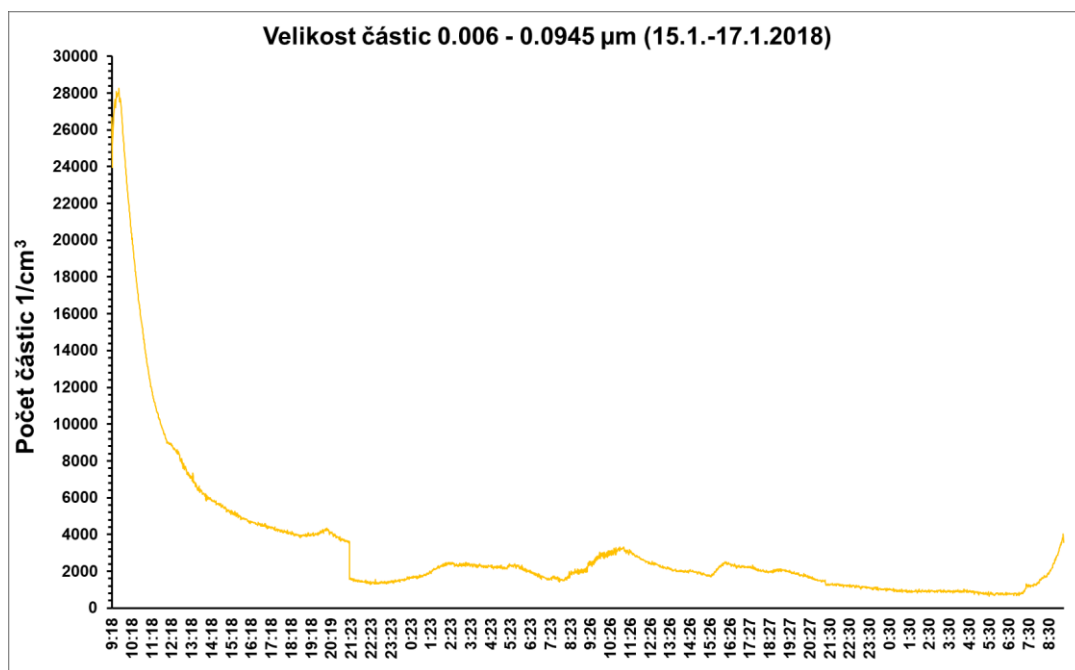
Obrázek 22 Vývoj počtu nanočástic (0,006-0,0945 µm) po aplikaci nátěru

Kontrolní odběr vykazuje mírné zvýšení počtu částic, což je patrné z Obrázku 23. Během odběru však dochází postupně ke snížení počtu nanočástic až na úroveň okolo 2000 částic na cm^3 .

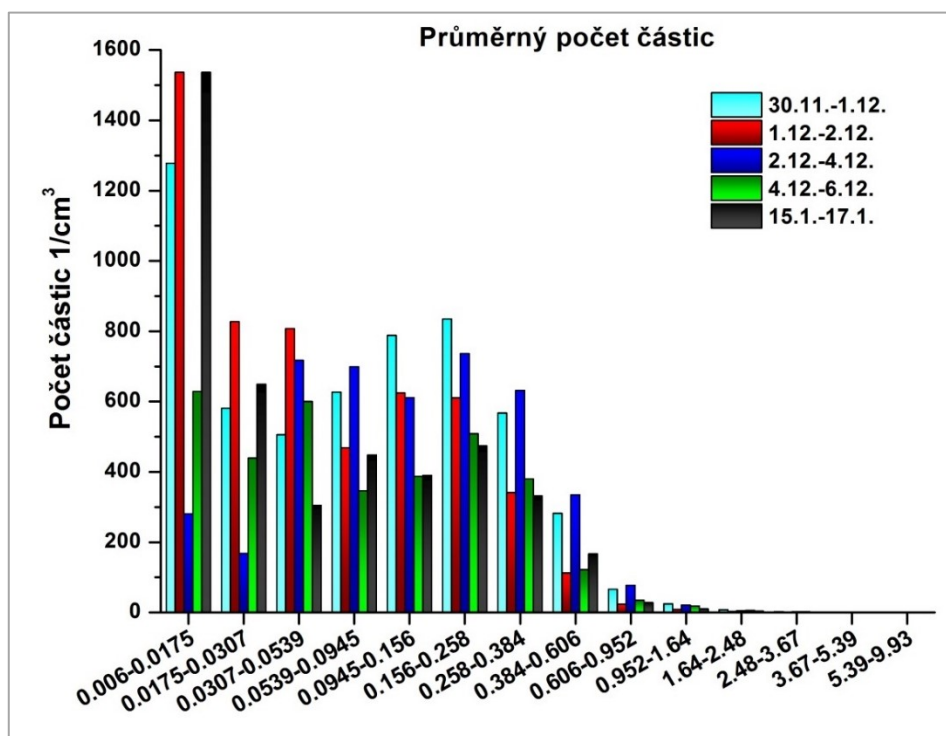


Obrázek 23 Vývoj počtu nanočástic (0,006-0,0945 μm) během kontrolního odběr 4.12.-6.12.2017

Na Obrázku 24 lze vidět, že se počet nanočástic pohybuje na úrovni okolo 2000 částic na cm^3 a postupně se tady snížil na minimální hodnoty.



Obrázek 24 Vývoj nanočástic (0,006-0,0945 µm) během kontrolního odběr 15.1.-17.1.2018



Obrázek 25 Průměrný počet všech částic naměřených během celého měření

K porovnání nanočástic s ostatními částicemi slouží Obrázek 25, kde je graficky zobrazena průměrný a maximální počet všech částic v místnosti v průběhu aplikace nátěru a

v pozdějším období. Oba obrázky dokazují pozitivní vliv nanonátěru na redukci prachových částic. Největší počet částic ve vzduchu se vyskytuje ve třídě 0,006-0,0945 μm . Prokazatelné snížení počtu částic se projevuje od velikost částic 0.0307 μm .

V Tabulce 8 jsou zvýrazněné hodnoty 0,006-0,0945 μm , které odpovídají velikostí nanočásticím a kterými jsem se zabývala.

Tabulka 8 Koncentrace a počty částic v jednotlivých zrnitostních třídách

Koncentrace PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
Zrnitostní třída PM (μm)	Před aplikaci nátěru (30.11.-1.12.2017)	Během aplikace nátěru (1.12.-2.12.2017)	Po aplikaci nátěru (2.12.-4.12.2017)	Kontrolní odběr (4.12.-6.12.2017)	Kontrolní odběr (15.1.-17.1.2018)
0.0175 - 0.0945	0.1	0.1	2.0	2.1	0.7
0.0945 - 0.952	26.4	14.5	27.5	16.6	20.3
0.952-2.48	50.2	14.7	35.4	30.0	23.2
2.48-9.93	40.8	15.2	22.3	20.6	16.6
Maximální počet částic ($1/\text{cm}^3$)					
Zrnitostní třída PM (μm)	Před aplikaci nátěru (30.11.-1.12.2017)	Během aplikace nátěru (1.12.-2.12.2017)	Po aplikaci nátěru (2.12.-4.12.2017)	Kontrolní odběr (4.12.-6.12.2017)	Kontrolní odběr (15.1.-17.1.2018)
0.006 - 0.0945	34754	10502	10202	5451	28252
0.0945 - 0.952	2616	1637	2416	1226	2104
0.952-2.48	12	6	8	9	6
2.48-9.93	1	1	2	2	2
Průměrný počet částic ($1/\text{cm}^3$)					
Zrnitostní třída PM (μm)	Před aplikaci nátěru (30.11.-1.12.2017)	Během aplikace nátěru (1.12.-2.12.2017)	Po aplikaci nátěru (2.12.-4.12.2017)	Kontrolní odběr (4.12.-6.12.2017)	Kontrolní odběr (15.1.-17.1.2018)
0.006 - 0.0945	3778	4263	2474	2398	3328
0.0945 - 0.952	1773	1095	1800	1062	1010
0.952-2.48	10	4	7	7	5
2.48-9.93	1	1	1	1	1

Předpisy týkající se kvality ovzduší a hmotnostní koncentrace částic ve vnitřním prostředí se rozdělují pouze na PM₁₀ a PM_{2,5}, které jsou pro škodlivost lidského zdraví rozhodující. Vyhláška Ministerstva zdravotnictví pro vnitřní pobytové prostory uvádí hygienické limity pro charakteristické ukazatele vnitřního prostředí. [51]

Limitní koncentrace chemických faktorů a prachu ve vnitřním prostředí staveb jsou stanoveny jako jednohodinové. Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí staveb se pokládají za splněné, nepřekročí-li střední hodnota hodinové koncentrace zjišťované látky v měřeném intervalu za standardních podmínek limitní koncentrace viz Tabulka 9. [52]

Tabulka 9 Limitní hodinové koncentrace chemických ukazatelů a prachu [52]

Ukazatelé	jednotka	limit
Oxid dusičitý	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	100
Frakce prachu PM10	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	150
Frakce prachu PM2,5	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	80
Oxid uhelnatý	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	5000
Ozon	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	100
Azbestová a minerální vlákna	počet vláken $\cdot\text{m}^{-3}$	1000
Amoniak	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	200
Benzen	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	7
Toluen	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	300
Suma xylenu	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	200
Styren	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	40
Etylbenzen	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	200
Formaldehyd	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	60
Trichloretylen	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	150
Tetrachloretylen	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	150

9 ZÁVĚR

Oblast nanotechnologií a nanomateriálů je nesmírně důležitá pro další rozvoj lidské společnosti. Může také přinést mnoho komplikací, co se týče aplikace. Ale správným a detailním výzkumem nám může poskytnout ještě více pokroků. Využívání nanotechnologie posouvá lidstvo dál, ale také je důležité dále pokračovat ve výzkumu, jelikož nanočástice mají negativní vliv na lidské zdraví, a to by se mělo omezit.

V rámci bakalářské práce byla firmou Nano4people navrženo měření jejich nových barevných nátěrů, a také funkce v interiéru. K tomuto měření byl využit spektrometr ELPI+, který dokáže změřit distribuci velikosti částic, ale také jejich koncentraci v ovzduší. Měření se zaměřilo na koncentraci prachových částic, přesněji nanočástic v interiéru. Před aplikací nano-barev byl výskyt nanočástic v interiéru ovzduší poměrně vysoký, ale nepřesahoval žádné limity. Během aplikace nátěru se výskyt nanočástic a celkové množství prachových částic začalo snižovat díky funkci nano-barev, jejíž účelem je zredukovat poléťavý prach, mikroorganismy a zápach ve vzduchu. Výsledkem aplikace nano-barvy bylo celkové snížení koncentrace prachových částic a velmi pozitivní účinek na pokles počtu nanočástic ve vnitřním prostředí interiéru. Celková koncentrace částic PM_{10} před aplikací byla $117.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a díky funkci nano-barvy se snížila u kontrolního odběru až na $60.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cca o 50%). Největší hmotnostní úbytek částic po cca dvou měsících od aplikace nátěru lze pozorovat ve třídě $1 - 2.5 \mu\text{m}$ (cca 50%) a ve třídě $2.5 - 10 \mu\text{m}$ (cca 60%). Nejmenší vliv byl pozorován u nanočástic (do $100 \mu\text{m}$). Využívání nano-barvy v interiérech zlepšuje kvalitu vnitřního ovzduší a zabraňuje opětovnému zvyšování nanočástic v ovzduší.

10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LUCIE DOHNALOVÁ A VLASTIMIL DOHNAL. Nanočástice a jejich toxicita. *Chemické Listy* 109, 444-450 (2015).
- [2] LIBOR KVÍTEK, ROBERT PRUCEK, ALEŠ PANÁČEK, JANA SOUKUPOVÁ. Nanočástice stříbra – příprava, vlastnosti a aplikace. *Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzikální chemie*.
- [3] ALEŠ PANÁČEK. Nanočástice stříbra, biologické vlastnosti a aplikace. *Katedra fyzikální chemie a Regionální centrum pokročilých technologií a materiálů, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci*.
- [4] ZUZANA FILIPOVÁ, JANA KUKUTSCHOVÁ, MIROSLAV MAŠLÁŇ. Rizika nanomateriálů. *Katedra experimentální fyziky Univerzity Palackého v Olomouci*.
- [5] ING. LENKA FRIŠHANSOVÁ, DOC. ING. ET ING. KAREL KLOUDA, CSC., PH.D., MBA. Ambivalence nanočástic. *Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v.v.i.*
- [6] Nanočástice v životním prostředí. *Docplayer* [online]. 2018 [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/16731402-Nanocastice-v-zivotnim-prostredi-j-filip.html>
- [7] JAROSLAV MRÁZ. Vyráběné nanomateriály: vlastnosti, účinky, výskyt na pracovištích. *Státní zdravotní ústav Praha 29. konzultační den 17.09.2009*.
- [8] VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE. Využití nanotechnologií při přípravě nutraceutik a funkčních potravin.
- [9] RNDR. KLÁRA KOBETIČOVÁ, PH.D. Environmentální toxikologie – toxicita nanomateriálů. *Laboratoř ekotoxikologie a LCA, Ústav chemie ochrany prostředí, Fakulta technologie ochrany prostředí, VŠCHT Praha*.
- [10] BARTLOMIEJ KOŁODZIEJCZYK. Nanotechnology, Nanowaste and Their Effects on Ecosystems: A Need for Efficient Monitoring, Disposal and Recycling. Carnegie Mellon University and IUCN CEM, Brief for GSDR – 2016 Update.
- [11] PROF.ING. HELENA RACLAVSKÁ, CSC., MUDR. M. KOLIBA. Co jste o stříbre nevěděli. *4. roční konference*.

- [12] MUDR. MICHAEL VÍT, PH.D., RNDR. BOHUMIL KOTLÍK, PH.D., MGR. LENKA ŠKRABALOVÁ. Jak dál v regulaci expozice nanočásticím v pracovním prostředí. *SZÚ Praha*.
- [13] Nanotyčinky dokáží zvýšit účinnost solárních panelů až 15%. *Pre Priemysel* [online]. 2016 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://www.prepriemysel.sk/nanotycinky-dokazu-zvysit-ucinnost-solarnych-panelov-az-15/>
- [14] Nanocones may boost solar cell efficiency by 15 percent. *Phys org* [online]. 2016 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://phys.org/news/2016-03-nanocones-boost-solar-cell-efficiency.html>
- [15] Kudy do nanosvěta. Nanosvět. K. Záruba a spousta dalších, nanotechnologie molekulární pinzety. Nanověda. *Docplayer* [online]. 2013 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/12936343-Kudy-do-nanosveta-21-10-2013-nanosvet-nanosvet-nanosvet-k-zaruba-a-spousta-dalsich-nanotechnologie-molekularni-pinzety-nanoveda.html>
- [16] DUŠAN NOHAVICE. Rizika nanomateriálů a nanotechnologií pro lidské zdraví a životní prostředí. *Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v.v.i., Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.*
- [17] Mezteliom. *Medicína, nemoci, studium na 1. LF UK* [online]. 2011 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.stefajir.cz/?q=mezteliom>
- [18] Nanotechnology Products and Applications. *Nanowerk* [online]. 2018 [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <https://www.nanowerk.com/nanorisk/nanorisk.php>
- [19] INKJET COLOR PRINTING BY INTERFERENCE NANOSTRUCTURES. Aleksandr V. Yakovlev*, Valentin A. Milichko, Vladimir V. Vinogradov, and Alexandr V. Vinogradov*, *ACS Nano*, 2016, 10 (3), pp 3078–3086.
- [20] Range Overview. *Pilkington* [online]. 2018 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.pilkington.com/en/global/products/product-categories/self-cleaning/pilkington-activ-range>
- [21] HARDENING ACCELERATING ADMIXTURE FOR CONCRETE – EN 934-2: T7. Master X-Seed 100. *Basf*. April 2016.
- [22] NanoFlexs Solar Technology. *Nanoflex Power Corporation* [online]. 2018 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://www.nanoflexpower.com>

- [23] Nano materials. *Dynalene* [online]. 2018 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://www.dynalene.com/Nano-Materials-s/1514.htm>
- [24] Nanotech Solar Panels. *Nanotech Engineering* [online]. 2018 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://nanoscienceinc.com/nanotech-solar-panels>
- [25] Grafen. *Wikipedie* [online]. 2018 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Grafen>
- [26] NOORDIN, M.R. AND LIEW, K.Y. Synthesis of Alumina Nanofibers and Composites, Nanofibers, Ashok Kumar (Ed.), ISBN: 978- 953-7619-86-2, (2010). InTech, Available.
- [27] About NIA. *NIA Nanotechnology Industries Association* [online]. [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <http://www.nanotechia.org/news/oecd-publishes-test-guideline-dispersion-stability-nanomaterials-and-updates-two-other-test>
- [28] Ozonix Chemical-Free Bacteria & Corrosion Control. *Ecosphere Technologies Inc.* [online]. 2018 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://www.ecospheretech.com/environmental-engineering-technologies/ozonix>
- [29] SOUZA V.G.L., FERNANDO A.L. A Review. Nanoparticles in food packaging: Biodegradability and potential migration to food—Food Packaging and Shelf Life 8 (2016) 63–70.
- [30] Disease diagnostics: Nanosphere tests for success with optics, nanogold. *Bio Optics World* [online]. 2009 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://www.bioopticsworld.com/articles/2009/01/disease-diagnostics-nanosphere-tests-for-success-with-optics-nanogold.html>
- [31] Nanotrap Technology. *Ceres Nanosciences* [online]. 2017 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.ceresnano.com>
- [32] EZHILARASI, P.N., KARTHIK, P., CHHANWAL, N. ET AL. Nanoencapsulation Techniques for Food Bioactive Components: A Review. *Food Bioprocess Technol.* (2013) 6: 628.
- [33] THALLES M. F. MARQUES. Photoluminescence Enhancement of Titanate Nanotubes by Insertion of Rare Earth Ions in Their Interlayer Spaces. *Journal of Nanomaterials* Volume 2017 (2017), Article ID 3809807.

- [34] MIHALACHE R, VERBEEK J, GRACZYK H, MURASHOV V, VAN BROEKHUIZEN P. Occupational exposure limits for manufactured nanomaterials, a systematic review. *Nanotoxicology*. 2017;11:7–19. doi: 10.1080/17435390.2016.1262920.
- [35] Stone V, Pozzi-Mucelli S, Tran L, Aschberger K, Sabella S, Vogel U et al. ITS-NANO – prioritising nanosafety research to develop a stakeholder driven intelligent testing strategy. *Part Fibre Toxicol*. 2014;11:9. doi:10.1186/1743-8977-11-9.
- [36] WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO guidelines on protecting workers from potential risks of manufactured nanomaterials ISBN 978-92-4-155004-8.
- [37] Rizika nanomateriálů. *Docplayer* [online]. 2018 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/17993677-Rizika-nanomaterialu.html>
- [38] File: Bronchiolar epithelium 2. *Wikimedia Commons* [online]. 2017 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1253501>
- [39] Nanomaterials: Ecotoxicity studies are urgently needed. *Recyclingportal* [online]. 2010 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.recyclingportal.eu/artikel/23455.shtml>
- [40] RONALD H. WHITE, M.S.T., R.H. WHITE CONSULTANTS, LLC. Nanotechnology: Risk Assessment and Management. *Chesapeake AIHA/ASSE Educational Seminar*. 13.03.2013.
- [41] The Uses of Nanotechnology in Wastewater Treatment. *Nanotechnology in Wastewater Treatment* [online]. 2018 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://nanowatertreatment.wikispaces.com/home#Purification%20by%20ZnO%20Particles>
- [42] Dealing With Nano-Waste: Can Nanoparticles Be Recycled?. *Azo Nano* [online]. 2018 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3062>
- [43] Recycling nanoparticles. *University of Bristol* [online]. 2010 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://www.bristol.ac.uk/news/2010/6964.html>
- [44] LIN Ch.Ch., CHEN W.Y. Effect of paint composition, nano-metal types and substrate on the improvement of biological resistance on paint finished building material. *Building and Environment* 117 (2017) 49-59.
- [45] Interiér. *Nanopeople* [online]. 2015 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.nano4people.cz/index.php/interier>

- [46] Exteriér. *Nanopeople* [online]. 2015 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.nano4people.cz/index.php/exterieer>
- [47] B. TRYBA, P. HOMA, R.J. WRÓBEL, A.W. MORAWSKI. Photocatalytic decomposition of benzo-[a]-pyrene on the surface of acrylic, latex and mineral paints. Influence of paint composition *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 286 (2014) 10–15.
- [48] (Hochmanová et al.2010). PVC – Pigment volume concentration.
- [49] ELPI+™ User manual Ver. 1.22. Tampere, 2013. Uživatelský manuál. Dekati Ltd.
- [50] HSIEH, Li-Ying et al. Size distributions of nano/micron dicarboxylic acids and inorganic ions in suburban PM episode and non-episodic aerosol. *Atmospheric Environment*, 43 (29), 2009, p. 4396 - 4406.
- [51] ING. JITKA HOLLROVÁ, MUDR. ARIANA LAJČÍKOVÁ, CSC. Prašnost a její hodnocení. *Státní zdravotní ústav Praha*, 2/2006.
- [52] ČESKO. Vyhláška č. 6/2003 Sb. ze dne 16. prosince 2002, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2003. Dostupné také z: <https://www.tzb-info.cz/docu/predpisy/download/V6-2003.pdf>

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Cyklické chování nanočástic v atmosféře [6]	2
Obrázek 2 Definice nanomateriálu podle ISO TS 27687 (ISO, 2008) [10]	5
Obrázek 3 Schéma označující tvar nanotyčinek [13]	6
Obrázek 4 Relativní velikost biomolekul vzhledem k nanočástici [15]	8
Obrázek 5 Princip metody vytvářející interferenční vrstvu pro inkoustovou tiskárnu s využitím TiO ₂ [19].....	11
Obrázek 6 Okenní tabule s úpravou pro zajištění samočistícího efektu [20]	12
Obrázek 7 Struktura grafenu a solární článek NanoTech. [25]	14

Obrázek 8 Cesty expozice nanočásticemi a možná přidružená onemocnění na základě in vivo a in vitro a epidemiologických studií [37]	24
Obrázek 9 Respirační epitel – cylindrický s řasinkami [38].....	25
Obrázek 10 Nanočástice v lidském organismu [37]	26
Obrázek 11 Klasifikace nebezpečných vlastností nanomateriálů (MNMS), které jsou zdokumentované v OECD [36].....	30
Obrázek 12 Rozdělení výrobků obsahujících nanočástice dle oblasti využití [13]	32
Obrázek 13 Chemická struktura ciprofloxacinu [41]	35
Obrázek 14 Antimikrobiální vliv při použití různých nano-pigmentů u akrylátových barev v interiéru [48]	39
Obrázek 15 Elektrický nízkotlakový impaktor ELPI ⁺	40
Obrázek 16 Rozložený impaktor	41
Obrázek 17 Třídění částic v impektoru.....	41
Obrázek 18 Hliníková sběrná folie s odebranými PM.....	42
Obrázek 19 Hmotnostní koncentrace prachových částic během jednotlivých odběrů	44
Obrázek 20 Vývoj počtu nanočástic (0,006-0,0945 μm) před aplikací nátěru	45
Obrázek 21 Vývoj počtu nanočástic (0,006-0,0945 μm) během aplikace nátěru.....	46
Obrázek 22 Vývoj počtu nanočástic (0,006-0,0945 μm) po aplikaci nátěru	46
Obrázek 23 Vývoj počtu nanočástic (0,006-0,0945 μm) během kontrolního odběr 4.12.-6.12.2017	47
Obrázek 24 Vývoj nanočástic (0,006-0,0945 μm) během kontrolního odběr 15.1.-17.1.2018	48
Obrázek 25 Průměrný počet všech částic naměřených během celého měření	48

12 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Rozdělení cíleně produkovaných nanočástic [1]	3
Tabulka 2 Biodegradabilní polymery a příklady nejčastěji používaných nanomateriálů v obalové technice [29].....	16
Tabulka 3 Roční produkce MNM podle WHO Guidelines on Protecting Workers From Potential Risks of Manufactured Nanomaterials 2017	19
Tabulka 4 Definované limity nanočástic pro expozici inhalací (Guideline OSHA) [34]....	21
Tabulka 5 Používané nanočástice [40]	33
Tabulka 6 Zrnitostní třídy odebíraných prachových částic	43
Tabulka 7 Početní distribuce částic aplikace nátěru	44
Tabulka 8 Koncentrace a počty částic v jednotlivých zrnitostních třídách	49
Tabulka 9 Limitní hodinové koncentrace chemických ukazatelů a prachu [52]	50